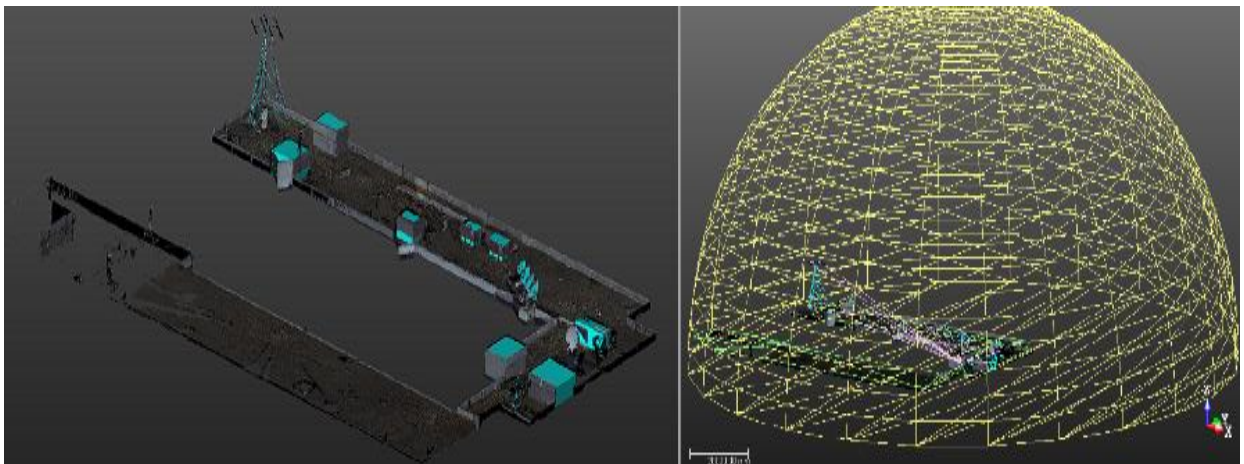


---

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,**  
**GEODESIA Y CARTOGRAFÍA**  
**TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA**  
**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**OBTENCIÓN DEL MODELO 3D DE LA AZOTEA DE LA ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA DE MADRID, MEDIANTE TECNOLOGÍA ESCÁNER 3D.**



**Madrid, Marzo 2014**

**Alumno:**

**Ainara Contreras Echebarria**

**Tutor:**

**Mercedes Farjas Abadía**

**Cotutores:**

**Jesús Nieves Chinchilla**

**Abel Varela Abelleira**

---

*Tengo que agradecer el haber podido concluir este Proyecto Fin de Carrera, a varias personas que de una forma u otra me han ayudado y apoyado desde el primer día que se inició.*

*En primer lugar a mi tutora, Mercedes Farja Abadía, por haberme ofrecido la posibilidad de realizar este PFC, por el apoyo y por la ayuda ofrecida durante todo el proceso.*

*En segundo lugar, a mis cotutores, Abel Varela Abelleira y Jesús Nieves Chinchilla, por su ayuda con el funcionamiento de los programas utilizados.*

*Y por último, a mi familia y a mi novio, por su apoyo y por no dudar nunca de mí.*

---

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.1. Objetivo del proyecto .....	7
1.2. Situación.....	8
1.3. Situación catastral .....	10
1.4. Reseña histórica .....	11
<b>CAPÍTULO 2. EQUIPO LÁSER ESCÁNER.....</b>	<b>16</b>
2.1. Introducción.....	17
2.2. Historia del láser .....	17
2.3. Antecedentes.....	18
2.4. Principio del equipo láser escáner .....	19
2.4.1. El espectro electromagnético y la luz.....	19
2.5. Tipos de tecnologías.....	21
2.5.1. Dependiendo de si el escáner está en contacto con el objeto o no.....	21
2.5.1.1. En contacto con el objeto .....	21
2.5.1.2. Sin contacto con el objeto .....	22
2.5.1.2.1. Escáneres activos.....	22
Tiempo de vuelo .....	22
Triangulación.....	25
En fase.....	26
Holografía conoscópica.....	28
Luz estructurada.....	28
2.5.1.2.2. Escáneres pasivos.....	29
Estereoscopios.....	29
Silueta.....	29
2.5.2. Dependiendo del sistema de barrido.....	30

---

2.5.2.1. Cámara.....	30
2.5.2.2. Panorámica.....	30
2.5.2.3. Híbrido.....	30
2.5.3 Dependiendo de la posición del equipo láser escáner en el momento de la medición.....	31
2.5.3.1. Equipos estáticos.....	31
2.5.3.2. Equipos dinámicos.....	31
2.6. Seguridad láser.....	31
2.7. Análisis del error.....	32
2.7.1. Errores instrumentales.....	32
2.7.2. Errores relacionados con los objetos.....	33
2.7.3. Condiciones ambientales.....	34
2.7.4. Errores metodológicos.....	35
2.8. Aplicaciones.....	35
2.8.1. En topografía.....	35
2.8.2. En geología y minería.....	36
2.8.3. En documentación patrimonial.....	37
2.8.4. En obras civiles e infraestructuras.....	38
2.8.5. En plantas industriales .....	38
2.8.6. En la prevención de incendios.....	39
2.8.7. En la medición de volúmenes en canteras.....	39
2.8.8. En temblores y terremotos.....	40
2.8.9. En derrumbes y hundimientos.....	41
2.8.10. En entretenimiento.....	42
2.8.11. En movimiento y catastro.....	42
2.8.12. Subestaciones y líneas eléctricas.....	43
2.8.13. Automoción e ingeniería aeroespacial.....	44
2.8.14. En estudios forenses y accidentes.....	45
2.9. Características del equipo.....	46
 CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	 50
3.1. Planificación.....	51
3.2. Trabajo de campo .....	54

---

3.3. Toma de datos.....	55
3.4. Preparación de los datos.....	56
3.5. Tratamiento de los datos y resultados.....	56
3.5.1. Fusión de los escaneos.....	59
3.5.2. Modelado de los obstáculos groseros.....	70
3.5.3. Líneas de visibilidad.....	73
3.5.4. Superficies de ocupación.....	77
3.5.5. Estudio de visibilidad.....	83
3.5.6. Estudio de precisiones .....	95
 CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	 96
 CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO .....	 98
5.1. Introducción.....	99
5.2. Desglose de las fases del proyecto .....	99
5.3. Clasificación de los costes.....	100
5.4. Asignación de recursos a tareas.....	100
5.5. Asignación de costes.....	102
5.6. Costes por actividad.....	103
5.7. Presupuesto final.....	111
 CAPÍTULO 6. ANEXOS.....	 112
6.1. Croquis de campo.....	113
6.2. Características del equipo escáner láser.....	114
6.3. Tarifas de alquiler.....	116
6.4. Software Trimble RealWorks 8.0.....	117
 CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA.....	 122

---

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este Proyecto Fin de Carrera consiste en la obtención de un modelo tridimensional de la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid. Tras la captura de los datos realizados con el equipo láser escáner de Leica, el presente proyecto plantea el aprendizaje de la tecnología láser escáner y el tratamiento de los datos para obtener la representación 3D de la azotea y hacer posible el estudio de las interferencias en las antenas que allí están ubicadas. El modelo tridimensional de la azotea permitirá obtener un mapa de obstáculos de la antenna. Con este mapa de obstáculos se quieren analizar los objetos que impiden o interfieren para que la señal recibida por la antenna se propague por el espacio libre.



Fig.1.1. Antena ubicada en la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

Este PFC pretende contribuir al estudio de cómo se podrían maximizar los tiempos de comunicación entre un satélite y la antenna receptora de la señal a partir del análisis del emplazamiento de la estación terrena. Se estudia en concreto la antenna situada en la azotea de uno de los edificios de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación en Madrid.

---

En el diseño del sistema de comunicación, desde el punto de vista del segmento terreno se han de tener en cuenta principalmente aspectos relativos a la localización de la antena y a fenómenos adicionales que sean relevantes según la frecuencia de banda. Todos estos aspectos adquieren mayor importancia por la localización del segmento terreno en ámbitos según sean urbanos y/o por las características de la misión.

Teniendo en cuenta las características del segmento espacial (pequeños satélites en órbitas bajas) y del segmento terreno (localizaciones en ámbito urbano), los fenómenos asociados a la presencia de la tierra (reflexión, difracción...), de la troposfera (índice de refracción y condiciones atmosféricas, importante en las bandas UHF y VHF) y de la ionosfera (densidad de moléculas ionizadas) adquiere una mayor relevancia la planificación del sistema de comunicación. A estas características del sistema satelital para este tipo de misiones se añade la reducción del campo de visibilidad desde la antena por la presencia de obstáculos cercanos en el emplazamiento del segmento terreno y por la orografía del horizonte circundante. Al campo de visibilidad reducido desde la localización de la antena se suma que en este intervalo de altura (desventaja frente a las órbitas geoestacionarias) el tiempo de visibilidad del satélite desde la antena es corto, debido al movimiento relativo del satélite respecto de la estación.

Dentro de este campo de investigación el objetivo final de este PFC es analizar la ubicación de la antena o la altura más óptima de la antena, para poder maximizar los tiempos de comunicación entre el satélite y la antena. Para realizar este estudio primero tendremos que aprender a utilizar el equipo, realizar la toma de datos y posteriormente se procederá a estudiar los datos de la azotea de la ETSIT para poder obtener un modelo tridimensional. Para obtener el modelo tridimensional se tendrán que realizar una serie de pasos, como son la fusión de los escaneados, la limpieza de los datos y el tratamiento de los mismos.

## **1.2. SITUACIÓN**

La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid se sitúa en la avenida Complutense nº30, "Ciudad Universitaria", en el Campus de Excelencia Internacional de Moncloa.

A continuación se muestra una imagen con su ubicación (Fig.1.3.) así como la imagen satélite (Fig.1.4.), obtenidas en la siguiente página: "<http://www.callejeromadrid.eu/>".



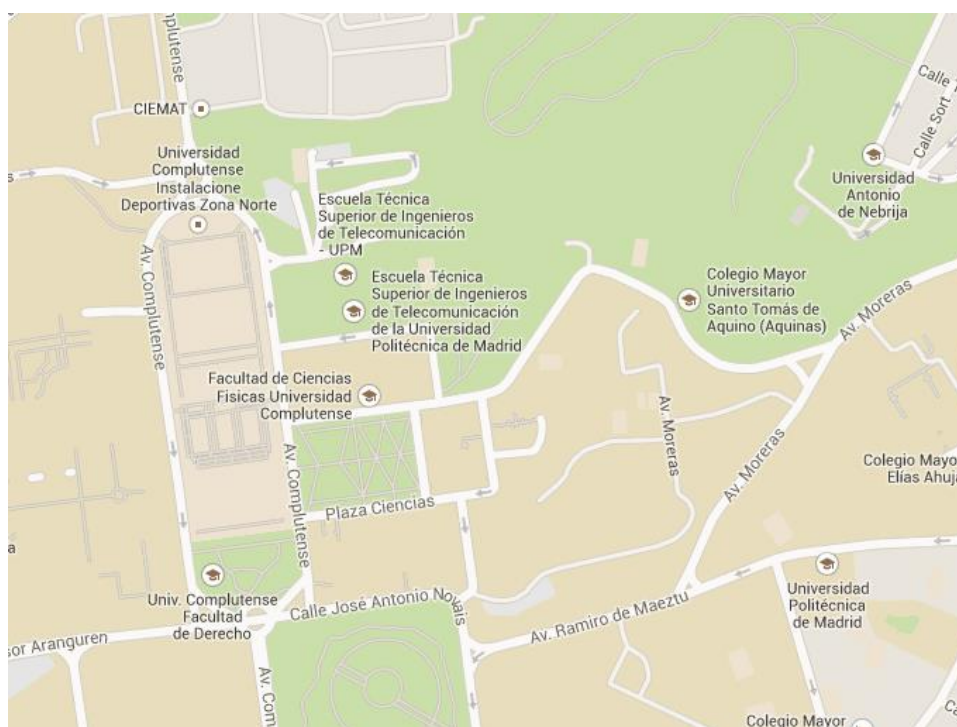


Fig.1.3. Mapa de situación de la Escuela Técnica Superior de Telecomunicación de la UPM.

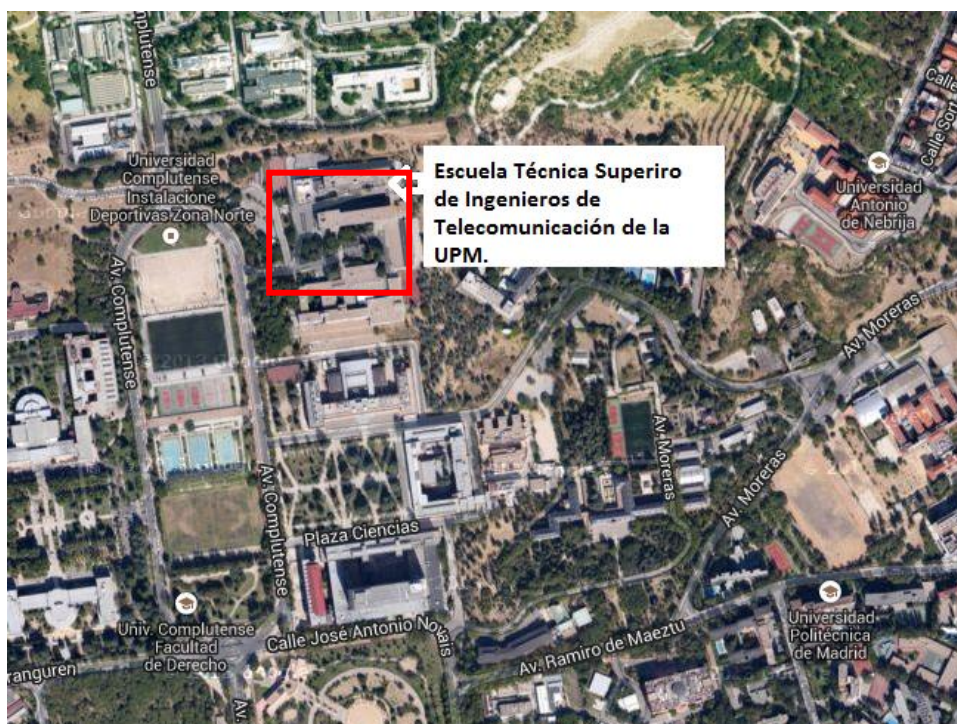
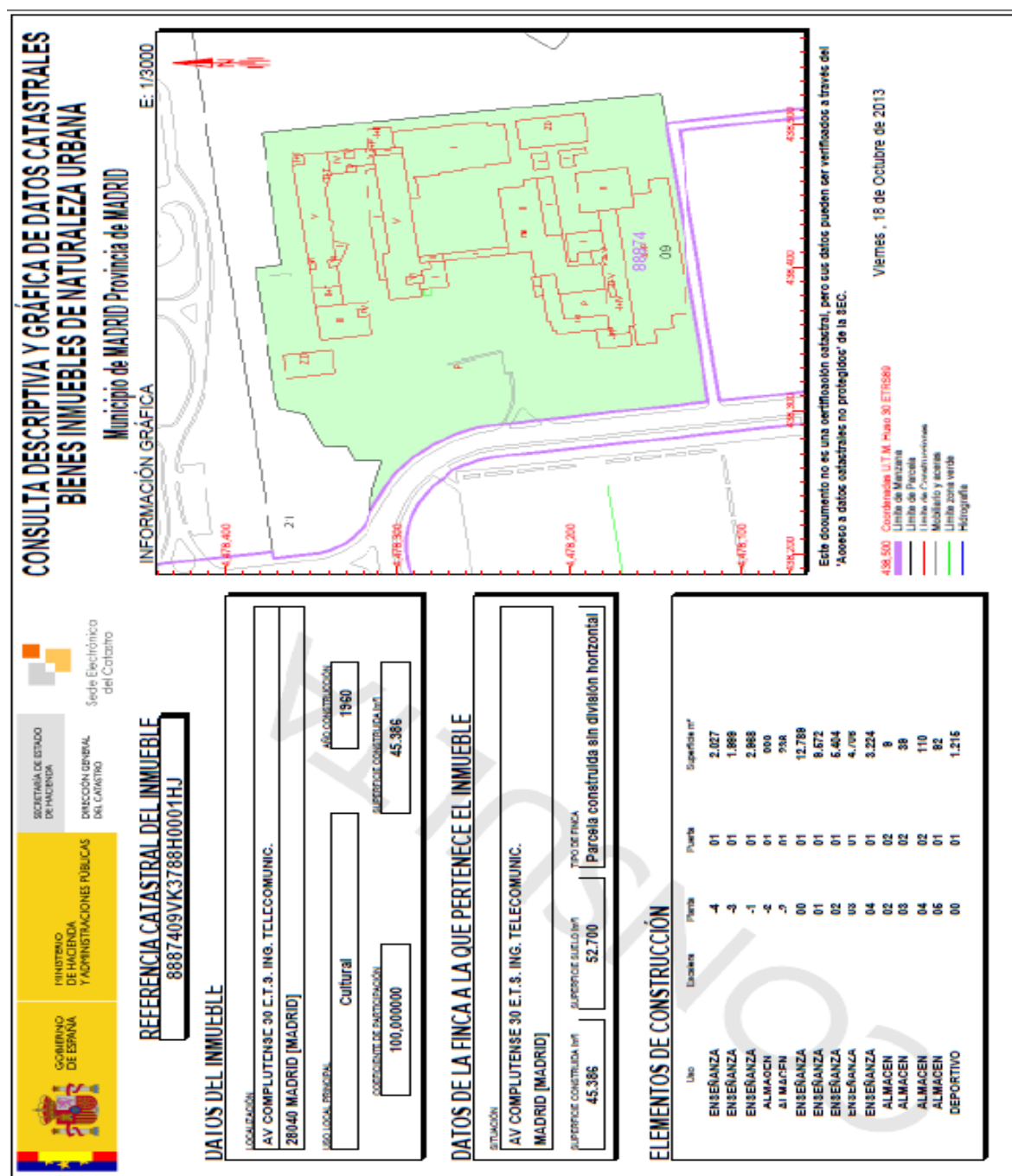


Fig.1.4. Imagen satélite de la Escuela Técnica Superior de Telecomunicación de la UPM.

### 1.3. SITUACIÓN CATASTRAL.

A continuación se muestran los datos catastrales de la Escuela Técnica Superior de Telecomunicación de la UPM. Estos datos se han obtenido de la siguiente página: <http://www.catastro.meh.es/>, mediante la opción "Datos y Consulta Descriptiva y Gráfica".



---

Según los datos catastrales la referencia catastral del inmueble es la siguiente:

<b>8887409</b>	<b>VK3788H</b>	<b>0001</b>	<b>HJ</b>
Finca o parcela	Hoja del plano	Local o piso	Control

Fig.1.6. Referencia Catastral de la Escuela Técnica Superior de Telecomunicación de la UPM.

La referencia catastral permite la localización de los bienes inmuebles en la cartografía catastral. Gracias a la referencia catastral se sabe con exactitud de qué bien inmueble se trata en los negocios jurídicos (compra-ventas, herencias, donaciones, etc.), no confundiendo unos bienes con otros.

A través de la referencia catastral se proporciona una mayor seguridad jurídica a las personas que realicen contratos relativos a bienes inmuebles, constituyendo una herramienta eficaz de lucha contra el fraude en el sector inmobiliario. Además, cuando los interesados aporten la referencia catastral del inmueble, quedan liberados de la obligación de realizar la correspondiente declaración ante el Catastro como consecuencia de la adquisición o consolidación de la totalidad de la propiedad de dicho bien, siempre que se haya formalizado en escritura pública o se solicite su inscripción en el Registro de la Propiedad en el plazo de dos meses desde la fecha de transmisión.

Asimismo, la consignación de la referencia catastral en el Registro de la Propiedad facilita la identificación física del inmueble frente a terceros, mejorando así la agilidad y la seguridad de las transacciones inmobiliarias.

## 1.4. RESEÑA HISTÓRICA

La formación en telecomunicaciones se institucionaliza el 6 de octubre de 1852 con la creación de la Escuela de Aplicación de Telégrafos. Un Real Decreto de 1913 crea la Escuela de Estudios Superiores de Telecomunicación con tres secciones de distinto nivel, una de las cuales se dedica a estudios Superiores. Otro Real Decreto de 22 de abril de 1920 crea el título de Ingeniero de Telecomunicación "al objeto de colocar el nivel científico de los Telegrafistas españoles a la altura de los que en otros países europeos ostentan títulos análogos y capacitar a sus poseedores para estudiar, plantear y resolver los más arduos problemas de la Telecomunicación" al que inicialmente sólo pueden acceder los Oficiales del Cuerpo de Telégrafos, tras cuatro años de estudios después de una oposición de ingreso.

En 1955, coincidiendo con la celebración del I Centenario de la Telecomunicaciones en España, se inaugura en la Calle Conde de Pañalver, 19 en el Barrio de Salamanca de Madrid la Escuela Oficial de Telecomunicación. Este mismo año se celebran la Exposición Nacional de Telecomunicaciones y el I Congreso Nacional de Ingeniería de Telecomunicación.

---

Con la Ley de 1957, las Escuelas Oficiales de Ingeniería pasan a depender orgánicamente del Ministerio de Educación y Ciencia, de una Dirección General de Enseñanzas Técnicas, y cambian su denominación pasando a llamarse «Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros» de la especialidad correspondiente. Se daba así un primer paso para integrar las enseñanzas de ingeniería dentro del conjunto de la enseñanza superior aunque todavía no estaban comprendidas en el ámbito de la Universidad.

En 1965, bajo la dirección de D. Emilio Novoa, se inauguran las nuevas instalaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación en la Avenida Complutense, 30 de la Ciudad Universitaria de Madrid.



Fig.1.7. E.T.S.I. de Telecomunicación de la UPM en 1965.





Fig.1.8. E.T.S.I. de Telecomunicación de la UPM en la actualidad.

En febrero de 1966 se dio un paso más en la incorporación de las enseñanzas de ingeniería al ámbito universitario con la autorización para agrupar las Escuelas Técnicas Superiores en Institutos Politécnicos y Universidades, y se creó el Instituto Politécnico Superior de Madrid que agrupaba a las nueve Escuelas existentes entonces: Arquitectura; Aeronáuticos; Agrónomos; Caminos, Canales y Puertos; Industriales; Minas; Montes; Navales y Telecomunicación. El presidente del Instituto tenía la consideración de rector de Universidad (Decretos 109/1966 de 2 de febrero y 171/1966 de 16 de junio).

Finalmente, en el año 1971 se crean las Universidades Politécnicas de Madrid, Barcelona y Valencia, únicas que han existido con tal denominación hasta el año 2000 en que se creó la Universidad Politécnica de Cartagena.

En 1994 se firma un acuerdo de doble titulación con la ENST -Telecom Paris.

En 2003 fue inaugurado el Museo de Telecomunicación Joaquín Serna, donde se encuentran los materiales utilizados en la Escuela de Telegrafía situada en la calle de Conde de Peñalver. En este museo se puede encontrar grandes equipamientos de telecomunicación (centralitas telefónicas analógicas, equipos de radar, emisoras de radio empleadas en estaciones comerciales) y también aparatos de comunicación de masas destinados a uso doméstico, utilizados en las últimas décadas del siglo XIX y a lo largo del XX.

En 2010 comienza a impartirse el nuevo plan de estudios adaptado al Espacio Europeo de Educación Superior.

La escuela consta de cuatro edificios en los que se reparten aulas, laboratorios de alumnos, laboratorios de investigación y despachos de profesores y catedráticos:

- Edificio A (Sanz Mancebo)

En el que se encuentran el mayor número de aulas y laboratorios de alumnos. También hay algunos despachos de profesores así como el aula magna, la sala de

---

juntas, el salón de grados, el salón de actos, la biblioteca, la cafetería, los clubes estudiantiles, la secretaría y la dirección.

- Edificio B (García Redondo)

En él se encuentran el resto de aulas (conocidas como las "B"s), algunos laboratorios de alumnos y numerosos laboratorios de investigación y despachos de profesores. Este edificio está comunicado con el anterior mediante un pasillo elevado conocido como "el acelerador".

- Edificio C (López Araujo)

Comunica con el edificio B. En su interior alberga fundamentalmente laboratorios de investigación y despachos de profesores, pero también se puede encontrar el museo y un segundo salón de actos. Adosado a este edificio se encuentra el Instituto de Energía Solar.

- Edificio D

De reciente construcción, está comunicado con el edificio A y está concebido en parte como un vivero de empresas, además de contener más laboratorios de investigación y despachos. También consta de una entrada a la biblioteca que se abre en horario extraordinario.



---

## **2. EQUIPO LÁSER ESCÁNER**



---

## 2.1. INTRODUCCIÓN

Un equipo láser escáner consta de dos componentes básicos: De un dispositivo de medida de distancias y de un mecanismo de barrido, que es un sistema motorizado de espejos que desvía el láser en las direcciones vertical y horizontal. El láser escáner es capaz de medir distancias de una gran cantidad de puntos, y al mismo tiempo ángulos y el valor de la reflectancia de las distintas superficies impactadas por el láser. Con los valores angulares y las distancias, se podrán calcular las coordenadas tridimensionales (x,y,z) de cada uno de los puntos medidos.

Mediante un escáner 3D obtenemos una nube de puntos, que tiene que ser procesada mediante un software para poder generar el modelo tridimensional del objeto escaneado. A este método, en el cual se determina la forma en la que están unidos los puntos y se obtiene el modelo, se denomina reconstrucción.

Los escáneres 3D son distintos a las cámaras, ya que estas últimas reúnen información del color sobre la superficie mientras que los escáneres 3D reúnen información acerca de su geometría, es decir, que obtienen la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado.

Normalmente la captura con un escáner 3D no producirá un modelo completo en el primer escaneado, sino que serán necesarios múltiples escaneos desde direcciones diferentes, para poder obtener la información desde todos los lados del objeto. Todos los escaneos que se realicen deberán ser situados en un sistema común de referencia, para poder obtener el modelo completo. A esta técnica se la denomina alineación, y con ella se transforman las coordenadas locales de cada toma de datos en coordenadas generales del modelo.

## 2.2. HISTORIA DEL LÁSER

La historia del láser se remonta al año de 1916, cuando Albert Einstein estudió y predijo el fenómeno de emisión estimulada en los átomos, según el cual un átomo que recibe luz de la misma longitud de onda de la que puede emitir, es estimulado a emitirla en ese instante.

El siguiente trabajo fundamental para la evolución posterior del láser fue el del bombeo óptico, desarrollado a principios de la década de los cincuenta por Alfred Kastler (1902-1984), nacido en Guewiller, Alsacia, y educado en Colmar, entonces posesión alemana. El trabajo de Kastler sobre el bombeo óptico, basado en técnicas de resonancia ópticas, fue desarrollado con la colaboración de su alumno Jean Brossel, de la École Normale Supérieure de París, y fructificó con el descubrimiento de métodos para subir el nivel energético de los átomos; dicho de otro modo, métodos para que los electrones de los átomos suban al nivel deseado, utilizando efectos de resonancia óptica. Estos métodos recibieron el nombre de bombeo óptico por el mismo Kastler, quien mereció el premio Nobel de física en 1966.

Charles H. Townes en 1951 se encontraba muy preocupado por encontrar un método para producir ondas de radio de longitud de onda muy corta, del orden de milímetros, y se le ocurrió un método para producir microondas usando el fenómeno de la emisión estimulada, basándose en la predicción de Einstein y en los estudios sobre bombeo óptico que realizó Alfred Kastler. La comprobación de su idea se la propuso como trabajo de

---

tesis doctoral a su alumno James P. Gordon, en la Universidad de Columbia. Tres años les tomó construir, con la colaboración de Herbert Zeiger, un dispositivo que amplificaba microondas mediante emisión estimulada, al que llamaron máser.

En septiembre de 1957, Townes, junto con Arthur Schawlow, comenzaron a pensar en el problema de construir ahora otro dispositivo similar al máser, pero que emitiera luz en lugar de microondas. Es interesante conocer la anécdota de que Townes solicitó una patente para artefactos que emitieran luz por el mecanismo de emisión estimulada, y de que poco después lo hizo también otro investigador de la misma Universidad de Columbia, llamado Gordon Gould, reclamando prioridad. Hay algunos que creen que Gould tenía razón. Lo cierto es que nadie niega que se hicieran algunos descubrimientos similares. Hasta la fecha sigue el pleito legal sobre quién tiene la razón.

Finalmente, Theodore H. Maiman logró construir el láser en 1960 en los laboratorios de investigación de la compañía aérea Hughes, en Malibu, California.



Fig.2.1. Láser.

## 2.3. ANTECEDENTES

En el proceso de documentación geométrica de objetos, se cuenta actualmente con herramientas de gran precisión, que han permitido agilizar el registro de datos, maximizar la información obtenida y conseguir resultados que aportan una representación cada vez más fiel a la realidad.

Aunque la mayor parte de los resultados gráficos obtenidos en los procesos de documentación geométrica se orientan a representaciones 2D, cada vez se hace más necesario obtener un registro en 3D para obtener un modelo tridimensional que represente la geometría del objeto. Estos modelos tridimensionales son necesarios en distintos campos, y gracias al láser escáner se pueden obtener de forma más rápida y precisa que con las metodologías anteriores (levantamientos topográficos y fotogrametría). La tecnología láser escáner ha dejado de ser una tecnología novedosa para convertirse en una herramienta contrastada muy cara y con grandes problemas en el tratamiento de la información.

En el campo de la arqueología la tecnología láser escáner ha supuesto un gran avance gracias al registro de información de manera rápida y exhaustiva, permitiendo la evaluación de

---

yacimientos con un alto grado de información fácilmente almacenable y facilitando su divulgación científica. Una característica muy importante de esta tecnología en este campo es la posibilidad de realizar el registro geométrico de objetos arqueológicos sin necesidad de contacto.

En cuanto a la ingeniería y arquitectura, esta tecnología tardó más tiempo en utilizarse de forma habitual, pero en la actualidad es la disciplina en la que mayor empleo se le está dando. Las posibilidades son enormes, desde la fabricación de pequeñas piezas industriales, hasta el registro geométrico de superestructuras de ingeniería para su ejecución y control posterior.

La gestión y documentación del patrimonio cultural, no consiste simplemente en un registro geométrico de los datos necesarios para su documentación, sino también en los procedimientos necesarios procesar esta documentación, archivarlos y posteriormente representar la forma, el volumen y el tamaño del elemento documentado. De este modo se posibilita su utilización como objeto de interés social, cultural, divulgativo y en muchos casos turístico, ofreciendo un claro ejemplo de la productividad que se puede obtener con el empleo de la tecnología láser escáner. Con la documentación del patrimonio se consigue una herramienta básica en tareas de rehabilitación y reconstrucción.

En la actualidad, las tecnologías láser escáner están demostrando un avanzado ritmo de crecimiento, tanto en instrumental, como en metodologías de trabajo y software de tratamiento de datos, que permiten un gran abanico de posibilidades para la obtención de modelos tridimensionales de cualquier tipo.

La ventaja del escaneado láser es el hecho de que puede tomar una gran cantidad de puntos con una alta precisión en un periodo de tiempo relativamente corto. Es como tomar una fotografía con información de profundidad.

La desventaja del escaneado láser es que precisa de la estación total para georreferenciar los modelos y para realizar el control de calidad pertinente (la unión de escaneados va acumulando errores).

## **2.4. PRINCIPIOS DEL EQUIPO LÁSER ESCÁNER**

### **2.4.1. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y LA LUZ**

El motivo por el cual podemos ver los objetos es porque emiten, reflejan o transmiten una parte de la parte visible del espectro, denominada como luz. Esta parte visible del espectro electromagnético está compuesta por los colores que vemos en el arco iris.

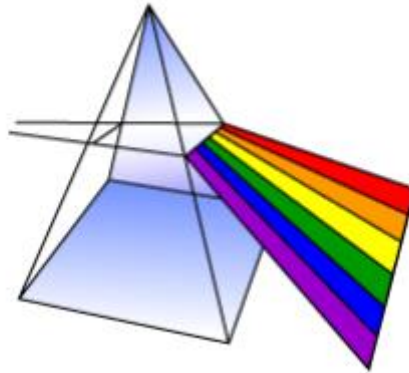


Fig.2.2. Prisma que convierte la luz blanca en los diferentes colores.

Cada uno de los colores corresponde a una longitud de onda diferente. Esto se puede observar si hacemos pasar luz blanca a través de un prisma de vidrio, como en la figura 2.1. El color violeta se refracta más que la roja porque su longitud de onda es más corta.

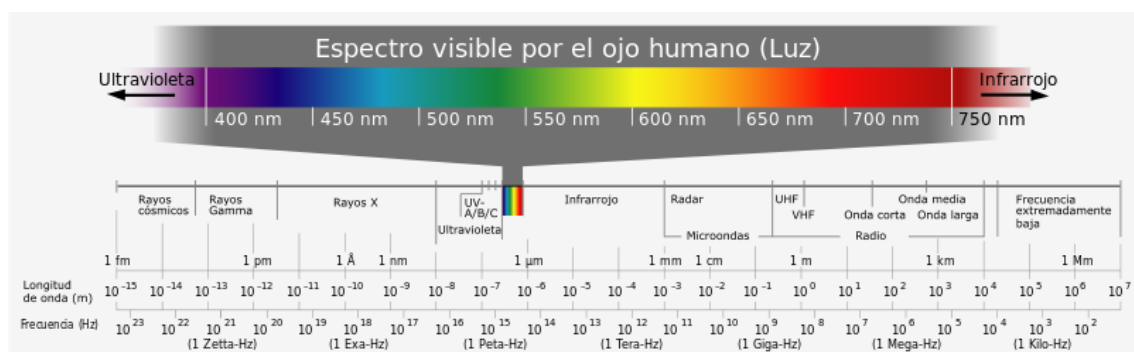


Fig.2.3. Espectro electromagnético.

Color	Longitud de onda
violeta	380–450 nm
azul	450–495 nm
verde	495–570 nm
amarillo	570–590 nm
naranja	590–620 nm
rojo	620–750 nm

Fig.2.4. Longitud de la onda.

El espectro electromagnético se puede expresar en términos de energía, longitud de onda o frecuencia. Estas magnitudes están relacionadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$c = v \cdot \lambda$$

---

$$E = h \cdot \nu = c / \lambda$$

Dónde:  $c$  = velocidad de la luz = 299.792.458 m/s

$h$  = constante de Planck =  $6.626069 \cdot 10^{-34}$  J·s.

$\nu$  = frecuencia

$\lambda$  = longitud de onda.

La luz láser es simplemente luz generada mediante un instrumento láser. Esta luz tiene algunas propiedades muy especiales:

- Alto grado de coherencia espacial, propagándose en una dirección bien definida. Esta es la razón por la que un haz láser se puede propagar en largas distancias y se focaliza produciendo manchas de luz muy pequeñas.
- La luz láser también tiene un alto grado de coherencia temporal (cuanto más monocromático sea un haz luminoso mayor coherencia temporal tendrá) a través de intervalos de tiempo relativamente largos, correspondientes a largas distancias de propagación (a menudo algunos kilómetros).
- Se obtiene un ancho de banda espectral (o ancho de línea) estrecho, produciendo un cierto color puro, por ejemplo rojo, verde o azul.
- La luz láser puede ser visible, pero la mayoría de láseres emiten en otras regiones del espectro, particularmente en el infrarrojo cercano, que el ojo humano no puede percibir.
- La luz láser no siempre es continua, puede ser emitida en forma de pulsos cortos o ultra cortos. Como consecuencia de esto, los máximos de potencia pueden ser extremadamente altos.
- La luz láser viaja con una velocidad finita y constante en un determinado medio.

## 2.5. TIPOS DE TECNOLOGÍAS

### 2.5.1. DEPENDIENDO DE SI EL ESCÁNER LÁSER ESTA EN CONTACTO CON EL OBJETO O NO

#### 2.5.1.1. EN CONTACTO CON EL OBJETO

Este tipo de escáneres examinan el modelo mediante toques físicos sobre el objeto, es decir, cada toque en el objeto corresponde con un punto del modelo. Con este tipo de escáneres se obtienen modelos muy precisos, por lo que se suelen utilizar para fabricar piezas. Alguno de los inconvenientes de este tipo de escáneres son que puede dañar el objeto escaneado al tocarlo y que su velocidad de escaneado es lento en comparación con otro tipo de escáneres.

---

### 2.5.1.2. SIN CONTACTO CON EL OBJETO

Este tipo de escáneres funcionan de manera que no llegan a tocar el objeto escaneado físicamente, sino que utilizan algún tipo de radiación como puede ser la luz (láser, infrarroja, natural) o el ultrasonido, entre otros.

Los escáneres sin contacto con el objeto se pueden clasificar en dos grupos, los activos y los pasivos.

#### 2.5.1.2.1. ESCÁNERES ACTIVOS

Este tipo de escáneres emiten luz o algún otro tipo de radiación para detectar su reflejo. Esta técnica de medición requiere un transmisor láser y un receptor, por lo que son mecánicamente más complejos que los escáneres mediante técnica pasiva.

Las ventajas de este tipo de escáneres son:

- No requieren luz ambiental, porque ellos generan su propia radiación.
- Proporcionan gran cantidad de mediciones de manera automática.
- Se pueden utilizar en superficies sin rasgos distintivos.
- Capturan mucha información en poco tiempo (1000-500.000 pto/s).

Las desventajas de este tipo de escáneres son que pueden verse afectados por fuentes de luz externas, reflectividad, color y rugosidad.

Los escáneres activos pueden medir la distancia de los objetos de varias maneras:

- **Tiempo de vuelo**

Este tipo de escáner no suelen usar haces continuos, sino pulsos de láser de manera que escanean todo su campo de visión punto a punto cambiando la dirección del haz mediante una unidad de desviación. Se envían unos pulsos láser que se reflejan en el objeto, y se calcula el tiempo que tardó el pulso desde que salió del escáner hasta que regreso al mismo. Este tiempo representa el espacio de ida y vuelta, por lo que se toma la mitad del mismo.

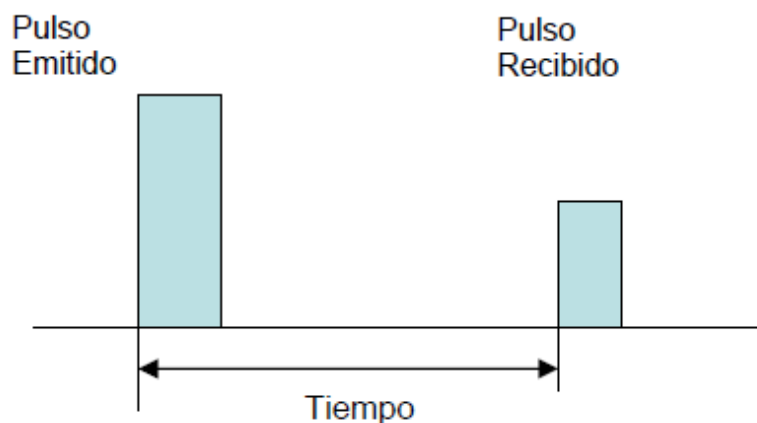


Fig.2.5. Medición láser por pulsos.

Para medir la distancia se cronometra el tiempo que tarda un pulso de luz en recorrer la distancia al objeto y volver, se utilizan relojes o bases de tiempo muy exactas. Para realizar este cálculo se utiliza la siguiente formula:

$$D = (C \cdot T) / 2$$

Siendo: D = Distancia

C = Velocidad de la luz en el aire.

T = Tiempo que tarda la señal en ir y volver.

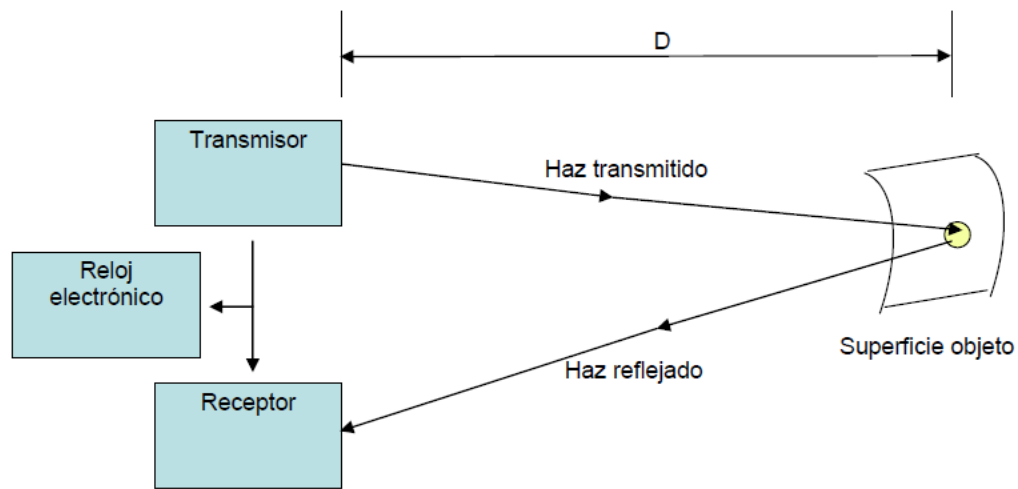


Fig.2.6. Principio de un láser escáner basado en el tiempo de vuelo.

Hay que destacar que para que no se produzcan mediciones ambiguas, el tiempo medido ( $t$ ) debe ser mayor que la amplitud del pulso ( $T_{pulso}$ ). De esta manera:

$$t > T_{pulso}$$

$$d > \frac{1}{2} c \cdot T_{pulso}$$

Siendo: d = Precisión.

El valor de la velocidad de la luz en el vacío es de 299.792.458 m/s, de manera que si la luz viaja por el aire se deberá de aplicar un factor de corrección igual al índice de refracción en función de la densidad del aire. Si tomamos el valor de la luz en el aire como 3,108 km/s obtendremos que tarda 3,33 nanosegundos en recorrer un metro. Por tanto, para poder alcanzar precisiones de 1 mm, se tendrá que poder medir intervalos de tiempo de alrededor de 3,33 picosegundos.

---

La precisión de este tipo de escáner dependerá de la capacidad que tenga el dispositivo para medir el tiempo, de manera que cuanto más precisos sean en medir el tiempo más precisos serán en medir la distancia.

El telémetro láser solo detecta la distancia en el punto de la dirección del láser, por tanto, se escanea todo el campo de visión punto a punto. Para ello, o bien se mueve la dirección del telémetro, o bien se utilizan espejos rotatorios para dirigir el láser. La mayoría de los escáneres utilizan espejos, ya que son mucho más fáciles de manejar que el telémetro por ser mucho más ligeros. Este tipo de escáneres tiene una velocidad de escaneo de unos 10.000-100.000 puntos por segundo.

La ventaja de los escáneres basados en el tiempo de vuelo, es que pueden operar a distancias muy grandes (del orden de kilómetros), por tanto, son muy apropiados para escanear grandes estructuras como edificios o accidentes geográficos. Las desventajas son su precisión, que suelen ser del orden de los milímetros y el problema de detectar la llegada exacta de los retornos dispersos del pulso.

Algunos de los escáneres basados en el tiempo de vuelo son:



Fig.2.7. Láseres escáneres basados en el tiempo de vuelo.



---

- **Triangulación**

Este tipo de escáneres miden los objetos por triangulación, también utilizan un láser para medir el entorno y una cámara para localizar la posición del punto laser. Dependiendo de lo lejano que esté el punto del objeto de la cámara, la proyección del láser cambiara el campo de visión de la cámara. Se le denomina triangulación porque el láser, el objeto y la cámara forman un triángulo. De este triángulo conocemos el lado que une la cámara con el láser, el ángulo formado por los lados adyacentes al laser y el ángulo formado por los lados adyacentes a la cámara se puede determinar examinando la localización del punto en el campo visual de la cámara. Mediante estos datos se puede obtener la forma y el tamaño del triángulo, para poder determinar la posición tridimensional de cada punto del objeto. En la mayoría de los casos, en lugar de analizar un solo punto, se analiza un segmento, de manera que se acelera el proceso de captura. Estos escáneres son más precisos que los de tiempo de vuelo (del orden de 10 micrómetros).

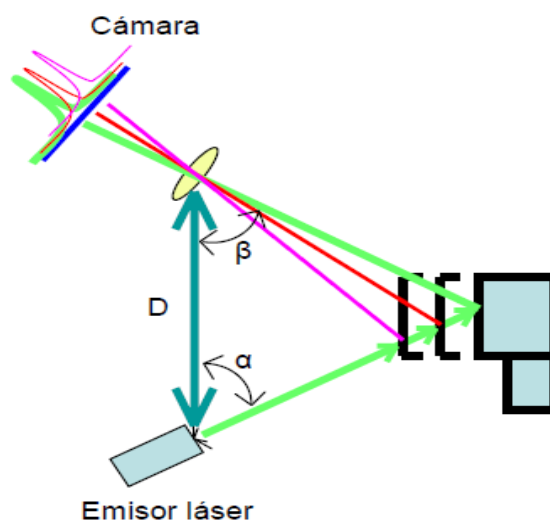


Fig.2.8. Principio del láser escáner basado en la triangulación.

Cuanto mayor sea el lado formado por la cámara y el laser, menor sera el error en la estimación de la profundidad del objeto. Sin embargo, dicho lado no puede ser muy grande porque sino el laser y la cámara tendrían un solape en el campo de visión muy reducido y la proyección del láser no siempre podría ser capturada por la cámara.

Para poder reducir la imprecisión en la dirección de la profundidad se pueden realizar los siguientes casos:

- Reducción de la distancia del objeto al escáner de manera que se reduce los efectos de las sombras.
- Incremento de la base de triangulación (D), lo que produce un aumento de los efectos de las sombras.
- Incremento de la distancia focal de la lente lo que disminuye el campo de visión.

- Reducción de la imprecisión de la medición lo que hace que tengamos más píxeles en la cámara.

Debido a las limitaciones físicas a la hora de usar una base mayor y un campo de visión limitado en la cámara, los escáneres por triangulación se suelen usar para distancias menores a 10 metros.

- **De medida de fase**

Este tipo de medición también se basa en el tiempo, pero evita la utilización de relojes de alta precisión, modulando la potencia del haz láser. La luz emitida (incoherente) se modula en amplitud y se envía a una superficie. La reflexión dispersa se captura y un circuito mide la diferencia de fase entre las ondas enviadas y las recibidas, y por tanto el tiempo que tarda en ir y volver.

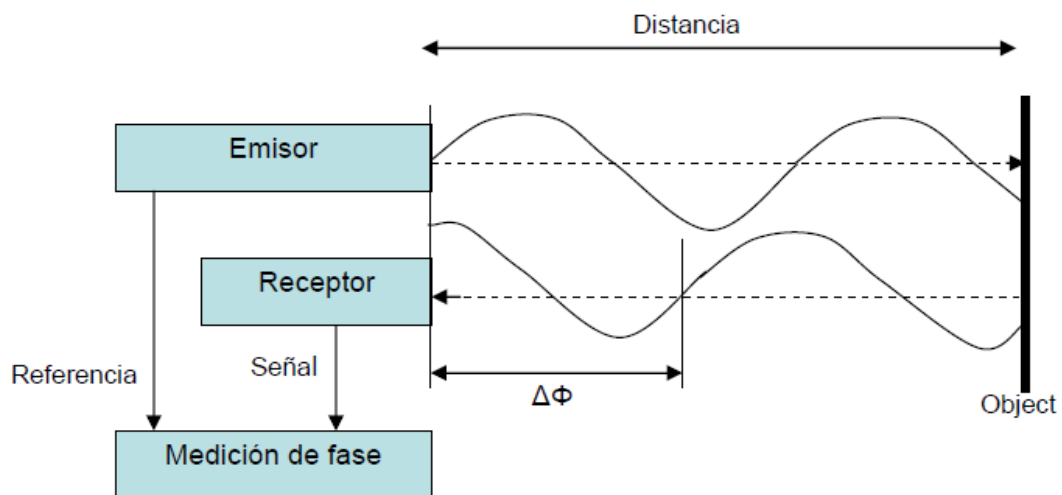


Fig.2.9. Principio de medición basado en la fase.

Los escáneres basados en la fase generalmente suelen modular su señal utilizando modulaciones sinusoidales, amplitud modulada, frecuencia modulada, pseudo ruido o modulación polarizada. Si la señal está modulada mediante modulación sinusoidal, la luz reflejada se desmodula por medio de cuatro puntos de muestra que son disparados a la onda emitida. A partir de los cuatro puntos medidos  $c(\tau_0)$ ,  $c(\tau_1)$ ,  $c(\tau_2)$  y  $c(\tau_3)$  el desfase o diferencia de fase  $\Delta\Phi$ , el desplazamiento  $B$  y la amplitud  $A$  se pueden calcular mediante las siguientes formulas:

$$B = \frac{c(\tau_0) + c(\tau_1) + c(\tau_2) + c(\tau_3)}{4}$$

---


$$A = \frac{\sqrt{(c(\tau_0) - c(\tau_2))^2 + (c(\tau_1) - c(\tau_3))^2}}{2}$$

$$\Delta\phi = \arctan\left(\frac{c(\tau_0) - c(\tau_2)}{c(\tau_1) - c(\tau_3)}\right)$$

La diferencia de fase se puede relacionar con el retardo medido en los escáneres basados en pulsos:

$$t = \frac{\Delta\phi}{2\pi \cdot f_{modulada}}$$

Según la ecuación de medición de distancias basadas en el tiempo de vuelo, obtenemos que la distancia al objeto viene dada por la siguiente formula:

$$D = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{c}{4\pi} \cdot \frac{\Delta\phi}{f_{modulada}}$$

Las ventajas de este tipo de escáner es que son muy precisos, en algunos casos submilimétricos y que permiten un muestreo muy rápido, de hasta 1.200.000 puntos por segundo. Y la desventaja es que por lo general están limitados a distancias medias.

Generalmente, la precisión de un escáner basado en fase está limitada por:

- Frecuencia de la señal o modulación.
- Precisión en el ciclo de medición de la fase que depende de la fuerza de la señal, el ruido...
- Estabilidad del oscilador de modulación.
- Turbulencias en el aire por el que se realiza la medición.
- Variaciones en el índice de refracción del aire.

---

Algunos de los escáneres basados en la fase son los siguientes:



Fig.2.10. Láseres escáneres basados en fase.

- **Holografía conoscópica**

Es una técnica interferométrica que consiste en hacer pasar un rayo reflejado en una superficie a través de un cristal birrefringente, es decir, un cristal que tiene dos índices de refracción, uno fijo y otro que dependerá del ángulo de incidencia. De esta manera se obtendrán dos rayos paralelos que interferirán con una lente cilíndrica. Esta interferencia será capturada por un sensor CCD y la frecuencia de esta interferencia determinará la posición del objeto. Las ventajas de esta técnica son, la alta precisión que alcanza (mejores que una micra) y el poder utilizar luz no coherente, la fuente de iluminación no tiene porqué ser un láser, la única condición es que sea monocromática.

- **Luz estructurada**

Este tipo de tecnología utiliza la proyección de un patrón de luz determinado en el objeto y analizan la deformación del patrón para obtener el modelo. El reflejo se captura con una cámara fotográfica y posteriormente mediante unos algoritmos se determina la posición de cada punto en el espacio 3D.

El patrón de luz suele consistir en un conjunto de líneas paralelas generadas bien por interferencia laser o por proyección. En algunos casos, dos cámaras fotográficas a los lados del emisor de luz proporcionan mejores resultados.

Mediante el análisis de la deformación de las líneas se obtienen los puntos 3D. La anchura de una línea es una función de la inclinación de la superficie del objeto en que se refleja. La frecuencia y la fase de la línea también aportan información, que se pueden analizar mediante la transformada de Fourier.

Como con el resto de tecnologías ópticas, este tipo de escáneres tienen problemas con las superficies transparentes y reflexivas puesto que la luz no interfiere en ellas el mismo reflejo que

---

en las opacas. Una manera de solucionar este problema es aplicando una capa fina de laca opaca a las superficies problemáticas.

La ventaja de los escáneres 3D de luz estructurada es la velocidad. En vez de escanear un punto a la vez, escanean múltiples puntos o el campo entero del campo de visión inmediatamente. Esto reduce o elimina el problema de la deformación por movimiento.

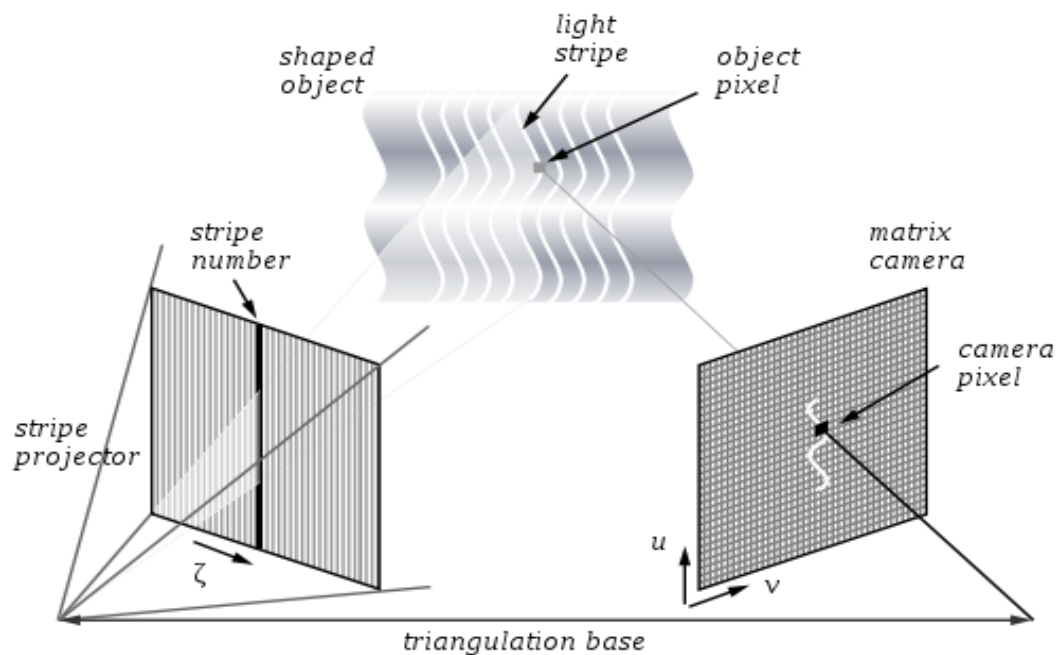


Fig.2.11. Deformación que se produce cuando la franja proyectada impacta sobre una superficie 3D.

#### 2.5.1.2.1. ESCÁNERES PASIVOS

- **Estereoscopios**

Los sistemas Estereoscopios emplean generalmente dos cámaras de video, levemente separadas, examinando la misma escena. Analizando las diferencias entre las imágenes capturadas por cada cámara, es posible determinar la distancia de cada punto en las imágenes. Este método se basa en la visión estereoscópica humana.

- **Silueta**

Este tipo de escáneres 3D usan bosquejos creados de una sucesión de fotografías alrededor de un objeto tridimensional contra un fondo muy bien contrastado. Estas siluetas se estiran y se cruzan para formar la aproximación visual hull (es una entidad geométrica creada por la técnica de la forma de la silueta de la reconstrucción 3D) del objeto. Esta clase de técnicas no son capaces de detectar algunas concavidades de un objeto (como el interior de un tazón).

## 2.5.2. DEPENDIENDO DEL SISTEMA DE BARRIDO

### 2.5.2.1. CÁMARA

Este sistema de barrido está limitado a un ancho de escena específico, delimitado por el tamaño de la ventana de barrido, que puede ser de un máximo de  $60^\circ$  tanto en ángulo horizontal como en vertical. Desde el punto de vista óptico consisten en un espejo interno que incrementa su ángulo horizontalmente, para que otro espejo interno realice el barrido desde arriba hacia abajo o viceversa. Se denomina tipo cámara, porque su visibilidad, campo de acción y operatividad, son muy parecidos a los de una cámara de fotogrametría terrestre.

### 2.5.2.2. PANORÁMICA

El sistema de barrido permite girar el haz de luz láser alrededor de dos ejes (horizontal y vertical) de manera similar a un teodolito. Para cada posición se realiza un barrido vertical completo con un espejo rotativo de alta velocidad, permitiendo realizar un barrido total de  $360^\circ$  por  $310^\circ$ . La única zona que queda por barrer es la delimitación por la base del propio instrumento.

### 2.5.2.3. HÍBRIDO

Este sistema es una combinación de los dos anteriores. El láser gira pequeños intervalos horizontales, y en cada intervalo el espejo oscilante se mueve desde arriba hacia abajo en forma similar a los del tipo cámara, con algunas limitaciones en el barrido vertical, pudiendo girar  $360^\circ$  y tomar todo lo que tiene alrededor.

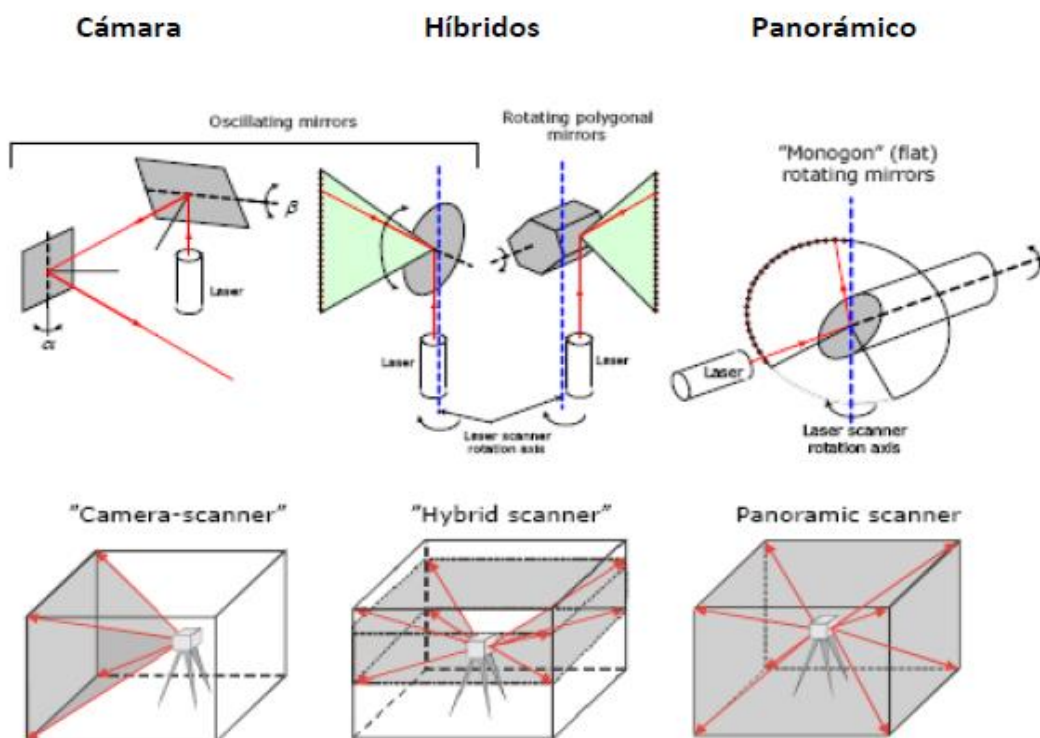


Fig. 2.12. Escáner láser dependiendo del sistema de barrido.

---

### **2.5.3. DEPENDIENDO DE LA POSICIÓN DEL EQUIPO LÁSER ESCÁNER EN EL MOMENTO DE LA MEDICIÓN**

#### **2.5.3.1. EQUIPOS ESTÁTICOS**

Estos equipos se mantienen en una posición fija durante la toma de datos, generalmente montados sobre trípodes o plataformas estables. El dispositivo por lo general se mueve a pequeños incrementos angulares de izquierda a derecha, y entre cada incremento se queda en una posición estática, en la que el espejo giratorio se mueve de abajo hacia arriba y va disparando el láser a intervalos predeterminados. Las ventajas de este tipo de equipos son la precisión y la alta densidad de puntos. El láser escáner estático suele ser el método más extendido para realizar escaneados terrestres.

#### **2.5.3.2. EQUIPOS DINÁMICOS**

Dentro de los escáneres terrestres, existe una versión dinámica de los mismos, que es básicamente, un sistema compuesto por uno o dos escáneres montados sobre el techo de un vehículo. Estos escáneres exploran a derecha e izquierda del vehículo realizando un barrido de 300 m de ancho, con detalles milimétricos de todos los puntos del terreno que va recorriendo. Estos vehículos llevan montados sistemas GNSS (GPS+GLONAS+GALILEO), conjuntamente con una plataforma inercial o IMU, que mantiene la precisión en las coordenadas en los momentos de sombra, es decir, cuando los satélites son insuficientes para mantener el tiempo real RTK en forma dinámica.

Un ejemplo de este tipo de equipos son los carros de medición en vías y túneles, consiguiendo rendimientos muy superiores a los realizados con equipo estático.

## **2.6. SEGURIDAD LÁSER**

Es importante conocer los diferentes tipos de láser, para poder determinar cuál es el más adecuado dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar, por ello, todos los láseres se suelen etiquetar y clasificar dependiendo de la longitud de onda y de la potencia de energía que produce el láser.

Los diferentes tipos de láseres son los siguientes:

- Clase 1. Son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos para visión intrahaz.
- Clase 1M. Son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, pero pueden ser peligrosos si se emplean lentes con el haz.
- Clase 2. Láseres que normalmente producen un reflejo ciego para proteger al ojo. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección en condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos con visión intrahaz.

- 
- Clase 2M. Láseres que normalmente producen un reflejo ciego para proteger al ojo. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección en condiciones de utilización razonablemente previsibles. Sin embargo, la visión de la salida del haz pueden ser peligrosa si se usuario emplea lentes con el haz.
  - Clase 3R. Láseres potencialmente peligrosos cuando se produce visión directa intrahaz, aunque el riesgo es menor que en el caso de láseres de la Clase 3B.
  - Clase 3B. Normalmente son peligrosos si ocurre exposición directa intrahaz, aunque la visión de reflexiones difusas es normalmente segura. Generalmente, esta clase de láser no es adecuada en aplicaciones de campo.
  - Clase 4. Si se observan directamente causarán daños en los ojos o en la piel. Los láseres de esta clase también pueden producir reflexiones peligrosas. Esta clase de láser no es adecuada en aplicaciones de campo.

Las precauciones a tener en cuenta cuando se realiza topografía, alineaciones o nivelaciones utilizando un láser Clase 1M, Clase 2M o Clase 3R son las siguientes:

- Sólo el personal cualificado y preparado debe ser asignado para instalar, ajustar y utilizar el equipamiento láser.
- Las áreas donde se utiliza estos láseres deberían estar señalizadas con la señal de advertencia apropiada.
- Deberían tomarse precauciones para asegurar que el personal no mira al haz (de manera prolongada e intrahaz ya que puede ser peligroso). La visión directa del haz a través de instrumentos ópticos (teodolitos, etc.) también puede ser peligrosa.
- Deberían tomarse precauciones para garantizar que el haz láser no se dirige a superficies especulares tipo espejo de manera intencionada.
- Cuando el equipo láser no esté en uso debe guardarse en un sitio donde el personal no autorizado no tenga acceso.
- Debe utilizarse equipamiento láser especial a prueba de explosiones en entornos con peligro potencial de explosión (p. ej. plantas petroquímicas, minas). Las propiedades de este equipamiento son: el máximo de potencia del láser y la temperatura máxima deberían estar limitados. Además, que no produzca chispas.

## **2.7. ANÁLISIS DEL ERROR**

Se dividen en cuatro categorías las fuentes de error en un escaneado láser.

### **2.7.1. ERRORES INSTRUMENTALES**

Este tipo de errores pueden ser sistemáticos o aleatorios. Los errores sistemáticos se pueden generar por la falta de linealidad de la unidad de medición del tiempo o también por la deriva de temperatura en la electrónica de medición del tiempo provocando una deriva en la



---

distancia. Los errores aleatorios afectan principalmente a la precisión de la medida y a la localización del ángulo en los sistemas de medición de tiempo de vuelo.

A continuación se explicaran algunos de los problemas que se pueden dar:

- Propagación del haz láser: La divergencia del haz es la anchura que alcanza el haz con la distancia recorrida, que tiene una influencia en la resolución de la nube y en la ambigüedad posicional del punto medio (siendo esta ambigüedad igual a un cuarto del diámetro del haz láser, según Lichti y Gordon).
- Borde partido: Cuando un haz láser choca contra un borde de un objeto, el haz se divide en dos. Una parte se refleja en la primera parte del salto del borde y la otra parte va más lejos hasta alcanzar otra superficie. En estos casos la información que recibe el receptor de un pulso láser llega desde dos puntos diferentes. Las coordenadas de este punto se calculan tomando la media de todas las señales recibidas para un mismo pulso y como consecuencia las coordenadas que se obtendrán de ese punto del objeto serán erróneas.
- Ambigüedad en la distancia: En la mayoría de los escáneres terrestres de medio y largo alcance proporcionan una ambigüedad en la distancia de entre 5 mm a 50 mm, para distancias de 50 m. Cuando se realiza el modelado estos errores se minimizan al realizar la media o al ajustar formas primitivas de la nube de puntos.
- Ambigüedad angular: La mayoría de los escáneres láser utilizan espejos rotatorios para guiar la señal láser hacia una dirección determinada. Una diferencia angular provoca errores en las coordenadas y este error aumenta cuando la distancia aumenta. La precisión angular depende de cualquier error en la posición de los espejos y de la precisión que se alcance en la medición de los ángulos. Este tipo de errores se pueden detectar midiendo distancias horizontales y verticales cortas entre objetos que estén situados a la misma distancia del escáner y comparando estas mediciones con otras realizadas con métodos topográficos más precisos.
- Errores en los ejes de un escáner láser terrestre: En un escáner láser hay tres ejes, el eje vertical (permite al escáner láser mover el haz láser de forma horizontal), el eje de colimación (pasa por el centro del espejo de escaneado y el centro de la huella del láser sobre la superficie del objeto escaneado), y el eje horizontal (eje de rotación del espejo de escaneado). Debido a las tolerancias en la fabricación, estos ejes no están perfectamente alineados, lo que nos proporciona un error en la colimación y un error en el eje horizontal.

### **2.7.2. ERRORES RELACIONADOS CON LOS OBJETOS**

Los escáneres miden la reflexión del haz láser sobre una superficie. El haz láser está afectado por la absorción de la señal que viaja por el aire, la reflexión del material sobre el que se mide y el ángulo de incidencia entre el haz láser y la superficie medida. Dependiendo de la reflectividad de la superficie a medir las mediciones serán más o menos fiables, es decir, cuando trabajamos sobre una superficie oscura la precisión del punto será menor debido a que la señal reflejada será muy débil y cuando trabajamos sobre una superficie con alta reflectividad (superficies brillantes) las mediciones obtenidas serán más

---

fiables. Sin embargo, si la reflectividad del objeto es demasiado alta (en superficies metálicas) el haz láser se desviará totalmente, incidiendo en otra superficie o propagándose por el aire libre.

Aparte de los efectos de reflectividad, hay materiales que tienen una capa semitransparente que permite pasar el haz láser refractándose y reflejándose en el propio material, como puede ser la madera o el mármol. Debido a estos efectos se deberá de añadir una constante en las mediciones de la distancia, que se tendrá que tener en cuenta en su cálculo.

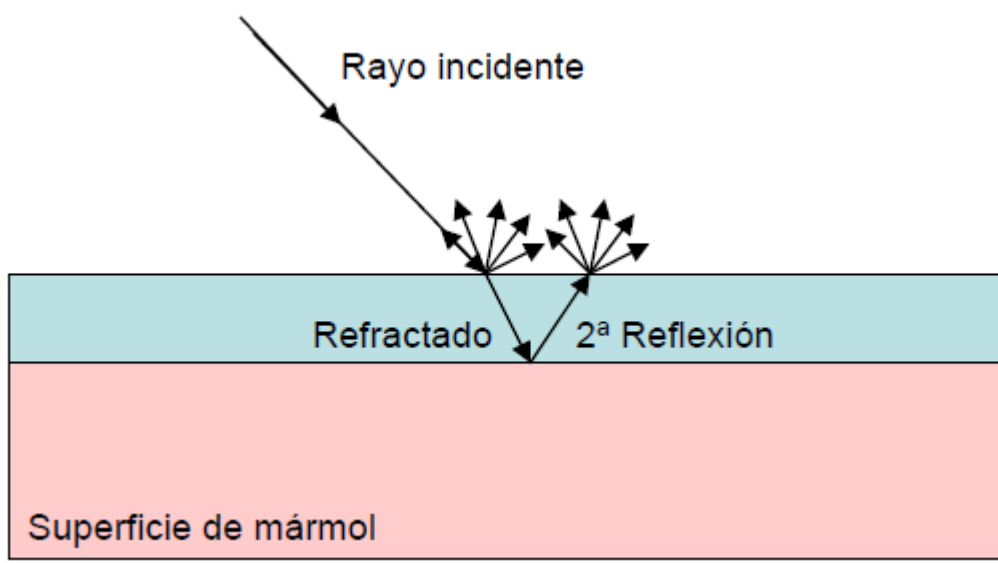


Fig.2.13. Efecto de la refracción en materiales semitransparentes no homogéneos.

### 2.7.3. CONDICIONES AMBIENTALES

- Temperatura: La temperatura dentro del escáner puede ser bastante más alta que la temperatura de la atmosfera de alrededor del equipo. Esto se debe al calor interno del escáner o al calor proporcionado por una radiación externa como puede ser el sol. Esta fuente de radiación externa puede calentar un lado del escáner dilatándolo y como resultado distorsionado los datos tomados por el escáner. A parte de la temperatura del escáner también hay que tener en cuenta la temperatura de la superficie a escanear, ya que si escaneamos una superficie que está a alta temperatura como un entorno industrial puede causar que se reduzca la señal ruido y como consecuencia que empeoren las precisiones de las mediciones.
- Atmosfera: Los escáneres láser solo funcionan adecuadamente cuando se utilizan dentro de un rango de temperatura, e incluso dentro de este rango se pueden observar desviaciones en las distancias. Estas desviaciones en las distancias se dan como consecuencia de variaciones atmosféricas de temperatura, presión y humedad, lo que afecta al índice de refracción y modifica la longitud de la onda

---

electromagnética. Esto significa que la velocidad de la luz del láser depende en gran medida de la densidad del aire. Una diferencia de temperatura de unos 10°C produce un error en la distancia de 1 mm cada 100 m.

- Interferencia de radiación: Los escáneres láser trabajan en una banda de frecuencia muy estrecha y la precisión en la distancia puede estar influenciada por una radiación externa. Para evitar esto se pueden aplicar filtros especiales de interferencia óptica para que sólo las frecuencias correctas alcancen el receptor.
- Distorsión por movimiento: Durante el tiempo que tarda el escáner en tomar toda la nube de puntos se puede mover de manera que se distorsionarían los datos tomados debido a que cada punto se toma en un tiempo diferente. Para solucionar este problema el escáner láser tendrá que estar montado sobre una plataforma estable de manera que se minimicen las vibraciones. Pero además el objeto a escanear tendrá que permanecer estático, ya que el escáner también se mueve por cambios de temperatura.

#### **2.7.4. ERRORES METODOLÓGICOS**

Este tipo de errores se deben al método topográfico elegido o a la experiencia que tienen los usuarios con esta tecnología. También pueden darse este tipo de errores si se toma una incorrecta elección del escáner a utilizar.

## **2.8. APLICACIONES**

### **2.8.1. EN TOPOGRAFÍA**

El láser escáner se utiliza dentro del campo de la topografía de manera que agiliza el proceso de recogida de datos.

Por ejemplo el láser escáner se puede utilizar en un levantamiento topográfico de alta definición, el cual permite una captura de información rápida, detallada y precisa de una superficie o volumen. El láser escáner realiza un barrido de la superficie captando miles de puntos por segundo y obteniendo una nube de puntos 3D compuesta por cientos de miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas (x,y,z) que componen un modelo tridimensional de los objetos registrados.



Fig.2.14. Ejemplo de un levantamiento topográfico mediante láser escáner.

### 2.8.2. EN GEOLOGÍA Y MINERÍA

El escaneado láser de afloramientos geológicos es una poderosa herramienta para recoger información relacionada con la geometría de superficies complejas, de manera que se puede matematizar y analizar rigurosamente la geometría de algunas superficies que han sido deformadas por procesos geológicos en las rocas. También permite obtener información de calidad de lugares inaccesibles como un acantilado.

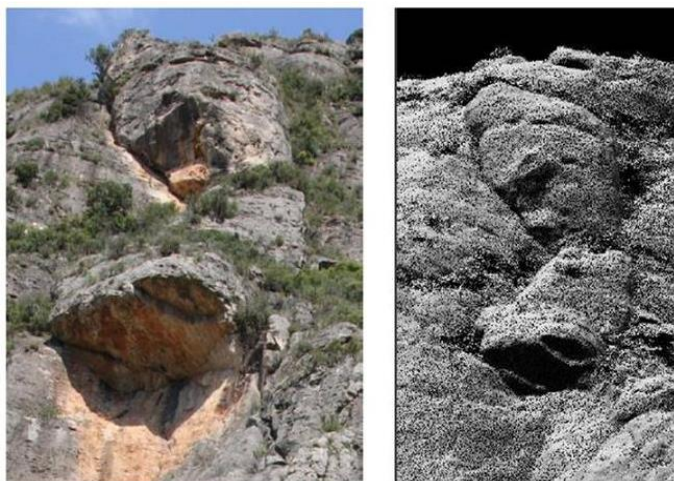


Fig.2.15. Ejemplo de un afloramiento geológico mediante láser escáner.

Dentro de la minería también se suele utilizar el láser escáner en los siguientes casos:

- Topografía de explotaciones a cielo abierto.
- Topografía de explotaciones en interior. Cámaras y pilares, grandes huecos.
- Cubicaciones de volúmenes de material, en avance de excavación y en stocks y acopios irregulares.

- 
- Topografía de zonas inestables, deslizadas y con taludes. Zonas problemáticas y de acceso difícil.
  - Topografía para su actualización del avance de los frentes y cubicación periódica de explotaciones.
  - Simulaciones virtuales para zonas restauradas en estudios de Impacto.
  - Espacios subterráneos mineros para depósitos de residuos.



Fig.2.16. Ejemplo de láser escáner en minas.

### 2.8.3. EN DOCUMENTACIÓN PATRIMONIAL

Esta tecnología es ideal para la documentación de edificaciones, monumentos y lugares históricos con detalle y gran precisión, generando nubes de puntos de 360º de las superficies escaneadas para crear modelos 3D que se emplean posteriormente en la restauración o en planes de conservación histórica. Características como la medición sin contacto y la nula alteración del objeto analizado hace que en determinadas ocasiones esta tecnología sea la única alternativa posible.



Fig.2.17. El Tajin mediante laser escáner (Mexico).

---

#### 2.8.4. EN OBRAS CIVILES E INFRAESTRUCTURAS

El láser escáner se utiliza dentro de este ámbito para:

- Topografía de avances de obra, control de calidad y mediciones en las certificaciones.
- Cartografía y modelización de obras e infraestructuras.
- Control de la geometría en la excavación de túneles y cubicación de los volúmenes de relleno de hormigón.
- Control de geometría y deformaciones en obras e infraestructuras.
- Topografía de vertederos y actualización periódica de cubicaciones.

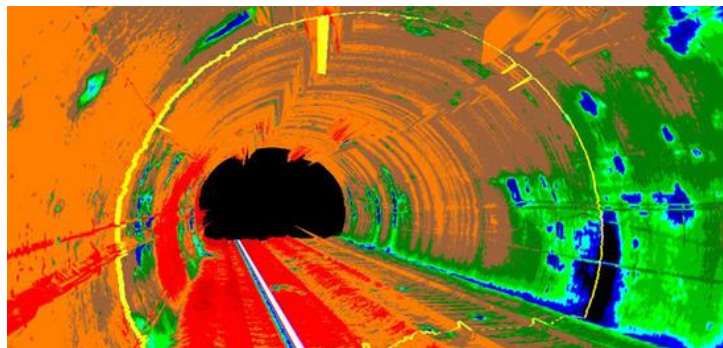


Fig.2.18. Excavación de túneles mediante láser escáner.

#### 2.8.5. EN PLANTAS INDUSTRIALES

El escaneado láser permite obtener modelos tridimensionales muy precisos de estructuras y componentes de instalaciones industriales.

Los modelos “as built” representan el estado real de la instalación en el momento de estudio por lo que resultan muy útiles para la planificación de trabajos, la formación de personal y la simulación de maniobras, especialmente en zonas de difícil acceso o en condiciones ambientales severas. Los modelos pueden exportarse a programas de diseño tipo CAD o bien a archivos con formato \*.pdt. para los que no se necesita formación específica.

Gracias al trabajo de topografía previo se pueden referir todos los elementos escaneados a un sistema de coordenadas común e integrado. De esta forma, se obtienen visualizadores panorámicos en entornos web que permiten moverse en el entorno real de la planta, identificar componentes, obtener coordenadas, medir distancias en tres dimensiones e identificar interferencias sin necesidad de estar físicamente en la zona de trabajo.



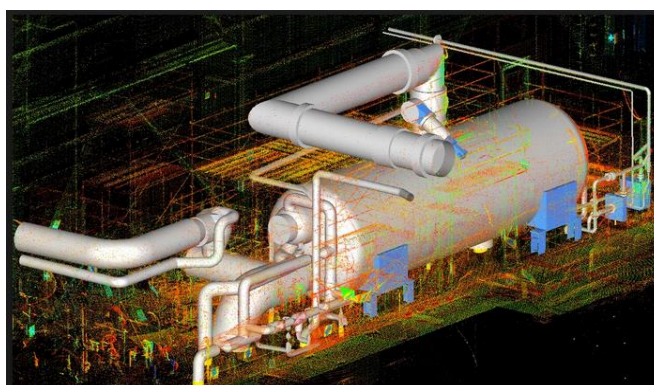


Fig.2.19. Planta industrial mediante láser escáner.

#### **2.8.6. EN LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS**

La tecnología láser escáner puede ser una herramienta muy importante en la prevención de incendios. Se realiza el escaneado de un escenario donde se ha producido un incendio obteniendo la nube de puntos 3D y posteriormente se traslada a un programa de simulación de incendios para poder investigar el comportamiento de los incendios (la transferencia de calor por radiación y convección, la pirolisis de la combustión de un material, el crecimiento del incendio, y la propagación de las llamas).

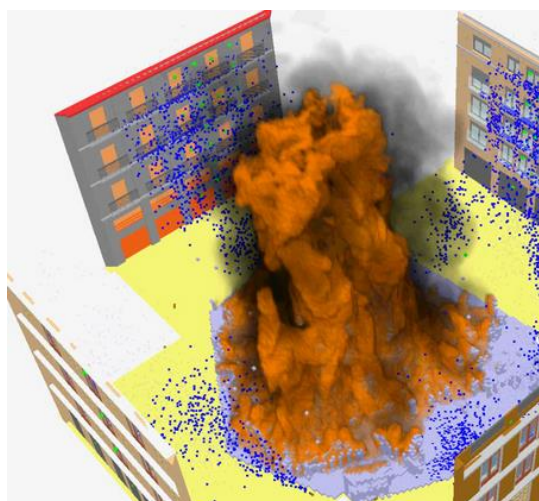


Fig. 2.20. Láser escáner en la prevención de incendios.

#### **2.8.7. EN LA MEDICIÓN DE VOLÚMENES EN CANTERAS**

La medición de volúmenes en canteras, es un problema que tradicionalmente ha sido abordado mediante topografía tradicional; es una labor de elevado coste que debe inevitablemente realizarse con continuidad a lo largo de la explotación.

---

La aparición del equipo láser escáner ha significado la posibilidad de realizar estas mediciones con una rapidez antes inalcanzable, y sobre todo, con una precisión incomparablemente más alta que la proporcionada por los medios topográficos clásicos.

La utilización de nubes de puntos para el estudio de taludes, o derribos provocados por la explotación de este tipo de recintos, nos ofrece la posibilidad de una recreación tridimensional, con precisión centimétrica, de la que podremos extraer, tantos volúmenes como secciones en cualquier dirección del espacio, para su posterior uso mediante programas de topografía.

El uso de escáner láser tridimensional multiplica los puntos monitorizados, de forma que en lugar de basar el cálculo de volumen en unos pocos miles de puntos se pasa a hacerlo en varias decenas de millones dependiendo de la extensión del recinto, llegándose sin dificultad a precisiones en el cómputo superiores al 95%.

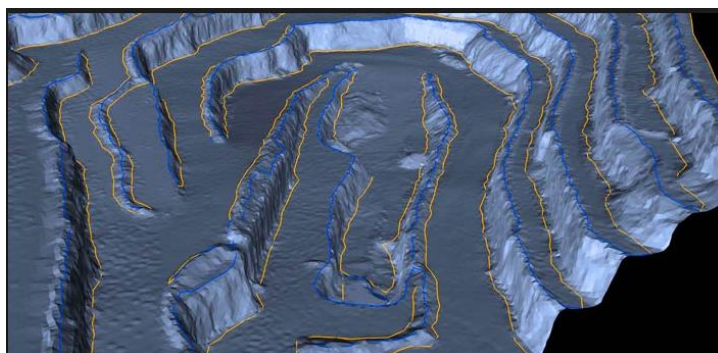


Fig.2.21. Medición de volúmenes en canteras con láser escáner.

#### **2.8.8. EN TEMBLORES Y TERREMOTOS**

Con el fin de restablecer lo más rápido posible los daños provocados en las infraestructuras ferroviarias y carreteras, el escaneo láser 3D se impone como la herramienta de análisis más rápida y eficaz. Los resultados obtenidos permiten al mismo tiempo preparar las reparaciones necesarias con los programas informáticos actuales, y afinar los resultados de las simulaciones teóricas al compararlos con los resultados reales levantados en campo.





Fig.2.22. Láse escáner en una carretera dañada tras un terremoto.

#### 2.8.9. EN DERRUMBES Y HUNDIMENTOS

Cuando sucede un derrumbe por ejemplo en las obras de un nuevo túnel, si se realiza un escaneado después del accidente el modelo digital que se obtiene permite a los diferentes expertos (geólogos, constructores y empresarios) a analizar cuales pudieron ser las causas del derrumbe.

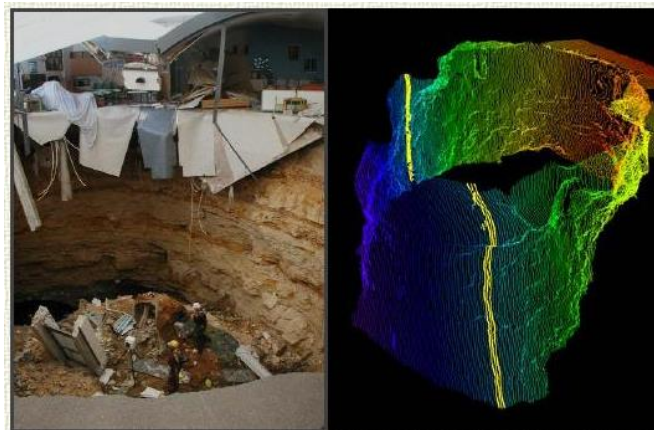


Fig.2.23. Empleo del láser escáner en una zona derrumbada.

---

### 2.8.10. EN ENTRETENIMIENTO

Los escáneres 3D son usados por la industria del entretenimiento para crear los modelos 3D digitales para películas y videojuegos. En caso de que exista en el mundo real el objeto cuyo modelo se quiere escanear, es mucho más rápido escanear el objeto físico que crear manualmente el modelo 3D por medio de software de modelado.

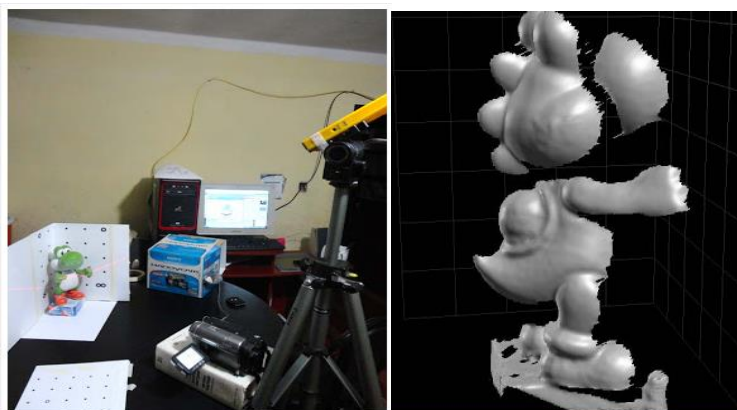


Fig.2.24. Muñeco escaneado para la creación de un videojuego (Mario Bros).

### 2.8.11. CATASTRO

El montaje de escáneres de alta velocidad sobre plataformas móviles, está creando una verdadera revolución en los levantamientos topográficos aplicados a la viabilidad y al catastro. El equipo compuesto por dos escáneres montados sobre los laterales del techo de un vehículo, con cámaras digitales, toman una película al mismo tiempo que los escáneres barren y guardan las nubes de puntos.

En el ámbito del catastro, después de una simple pasada por las calles o avenidas, tendremos el levantamiento de fachadas en tiempo casi real, y posteriormente en el post proceso, se asignan parcelas con sus códigos correspondientes y su exportación al Sistema de Información Geográfica o SIG.



Fig.2.25. Registro de la fachada de un edificio con tecnología láser escáner.

---

### 2.8.12. SUBESTACIONES Y LÍNEAS ELÉCTRICAS

Otra aplicación usual del láser escáner es en los corredores para líneas eléctricas y subestaciones eléctricas. Con la tecnología láser se pueden registrar y discriminar los objetos de interés aplicando pseudocolores a los mismos, tanto con detalles del terreno como con detalles de la vía, árboles y torres eléctricas.

### 2.8.13. AUTOMOCIÓN E INGENIERÍA AEROESPACIAL

En estas aplicaciones en las que la “ingeniería inversa” tiene una gran presencia, es indispensable la obtención de información rápida y precisa para la creación de diseños a partir de productos ya fabricados. La tecnología láser escáner permite la creación de prototipos, análisis de piezas, comprobación de modelos, etc., aportando una herramienta muy eficaz en los controles de calidad de cualquier producto.

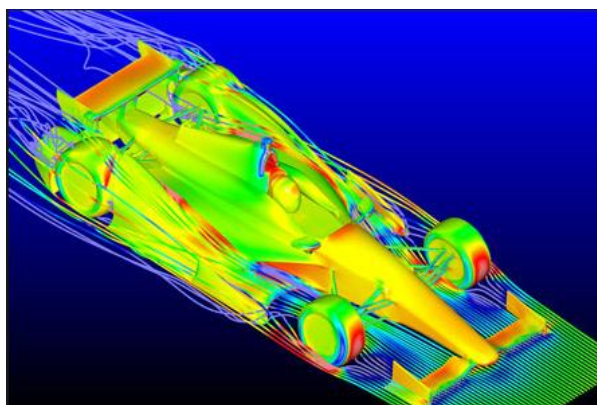


Fig.2.26. Láser escáner en el control de calidad de un automóvil.

### 2.8.14. EN ESTUDIOS FORENSES Y ACCIDENTES

Desde un simple accidente de tráfico, hasta un levantamiento completo de la escena de un accidente aéreo, el equipo láser escáner aporta un registro geométrico prácticamente exhaustivo de los hechos ocurridos en un instante preciso, pudiendo llegar a crear una simulación del suceso.



Fig.2.27. Modelo 3D de un vehículo implicado en un accidente de tráfico.

En el caso de la escena de un crimen, se necesita documentar todo el escenario de forma urgente para evitar su deterioro y la pérdida de información. Con esta documentación tridimensional, los forenses pueden examinar la escena en busca de líneas de visión o trayectorias de bala.



Fig.2.28. Reconstrucción de la escena de un crimen mediante tecnología láser escáner.

## 2.9. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO.

El equipo utilizado para la realización de este proyecto ha sido el equipo Photon 80 de la casa Faro, bajo la marca Trimble Geosystems.

El equipo Photon Laser Scanner es compacto, preciso y veloz y además trae consigo avances tecnológicos tales como la disminución del ruido en la imagen en un 300% (imágenes más claras y fieles), disminución del error de paralelaje en un 200%, mayor sensibilidad de escaneo, tomas más claras con una mejor localización de objetos distantes o la alta calidad en la yuxtaposición del color. El resultado, es un escaneo de datos detallado, minucioso, para asegurar una recreación fiel de cualquier escenario u objeto.



Fig.2.29. Características del equipo láser escáner Photon 80.

Las especificaciones de este aparato son:

- Unidad de Rango.  
 Alcance: 0.6 m – 76 m  
 Resolución: 0.6 mm – 17 Alcance por punto.  
 Velocidad de medición: 120.000 puntos/seg.  
 Error Sistemático de Distancia : 2 mm en distancias de 25 m.
- Unidad de Desviación.  
 Campo de Visión Vertical: 320°  
 Campo de Visión Horizontal: 360°  
 Resolución Vertical: 0.009° (40.000 3D – Pixel en 360°).  
 Resolución Horizontal: 0.00076° (470.000 3D – Píxeles en 360°).  
 Resolución Angular: 0.009°.  
 Velocidad Máxima de Escaneo Vertical: 2880 rpm.  
 Tiempo de Escaneo: at 3 mio, puntos ca. 30 sec.
- Láser (Transmisor Óptico).  
 Capacidad del Láser (CW promedio): 20 mW (Láser Class 3R).  
 Longitud de la Onda: 785 nm.  
 Desviación del Láser: 0.16 mrad (0.009°).
- Manejo de Datos.  
 PC Interna: Pentium III with 700 MHz, 256 MB RAM 80 GB HD: Windows 2000.  
 Almacenamiento de Datos: Local (en el disco duro interno, para la mayoría de las resoluciones) o remota (vía Ethernet, WLAN por PC o Laptop).  
 Scanner Control: Vía Ethernet, WLAN por PC o PDA en una línea local o Internet.
- Características Generales.  
 Fuente de Energía: 24 V DC (Batería o convertidor AC)  
 Consumo de energía: ~60 W  
 Temperatura Ambiental: 5° - 40° C  
 Humedad: no condensante



---

Sensor de Inclinación: opcional (precisión 0,1°; resolución 0,001°; rango  $\pm 15^\circ$ )

Peso: 14,5 kg (35lb)

Tamaño (LxWxH): 410 mm x 160 mm x 280 mm (15.7" x 6.3" x 11")

Mantenimiento de la Calibración: una vez por año

Módulos de Intercambio: Sensor de Distancia / espejo central / PC

Georeferencing: si

Cable Conector: Localizado al pie del escaner fijo

Panel de Control: Si, operación sin PC externa/ Laptop

En resumen el equipo láser escáner FARO Photon 80 contiene un sistema de medida basado en la diferencia de fase, de barrido panorámico, con un campo de visión total de 360° en ángulo horizontal y 320° en vertical. La máxima velocidad de medición es de 120.000 puntos por segundo, con un error sistemático de distancia de más menos 2 mm a 25 m y un alcance de entre 0.6 y 76 m.



Fig.2.30. Captura de datos en el proyecto con el equipo láser escáner Photon 80 de la casa Faro.

Por recomendación del fabricante se debe de realizar una revisión anual de la calibración del equipo, siempre por un servicio oficial.

Además del equipo láser, también se utilizó un trípode telescópico, un maletín con dianas, batería de alimentación compacta, y cables de comunicación y energía.



Fig.2.31. Dianas utilizadas en el proyecto.

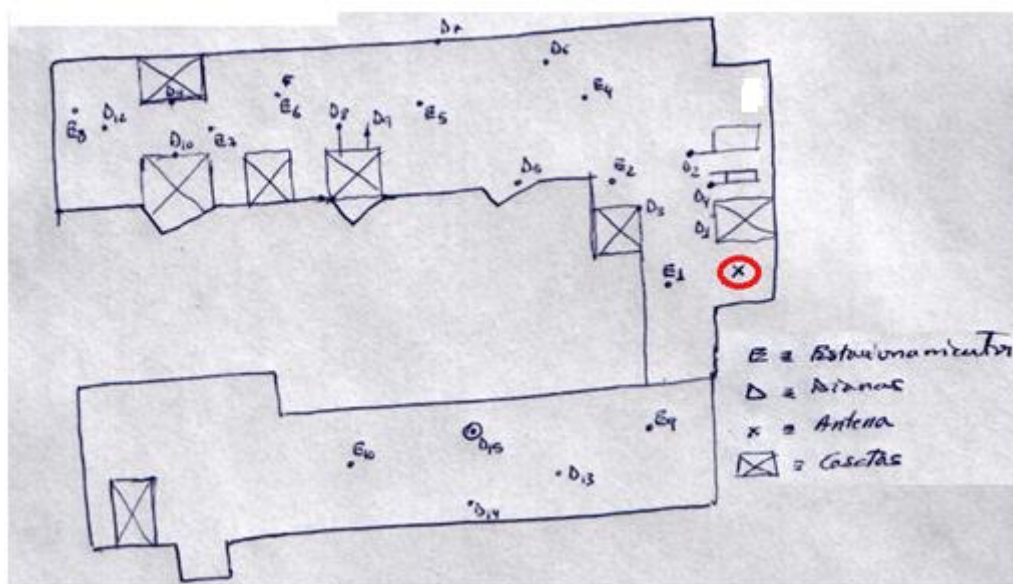


Fig.2.32. Croquis de la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

---

En la (Fig.2.32.) se presenta un croquis de la azotea objeto de este PFC. En el croquis se puede observar la antena, los estacionamientos realizados con el equipo laser escáner y las dianas utilizadas para la realización del proyecto. También se pueden observar todas las casetas de la azotea, que constituyen los obstáculos que impiden que las señales emitidas por la antena se propaguen por el espacio libre.

La toma de datos se realizó en el mes de Junio con el equipo láser escáner Photon 80 de la casa Faro, bajo la marca Trimble Geosystem.





---

## **3.METODOLOGÍA DE TRABAJO**

---

### 3.1. PLANIFICACIÓN

La planificación de un escaneado láser debe de contener, como mínimo, los siguientes puntos:

- Determinar los objetos: Tenemos que conocer cuáles son las necesidades del cliente antes de comenzar el escaneado del objeto y para ello tendremos que saber responder a las siguientes cuestiones: por qué el cliente quiere que se documente ese objeto y qué quiere realizar con los datos obtenidos. Es importante conocer el nivel de detalle que quiere el cliente sobre el objeto a escanear, y en base a ello podremos determinar la resolución, es decir, la densidad de puntos.

En este proyecto se ha realizado el escaneo de la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid. El objeto, es decir, la azotea, se ha escaneado para obtener su modelo tridimensional y poder determinar cuáles son los obstáculos que impiden que la señal recibida por la antena se propaguen por el espacio libre.

- Análisis del área a levantar: Es importante recopilar información sobre el objeto a escanear, de esa manera nos podremos hacer una idea de la complejidad del trabajo y del tiempo que nos puede llevar a cabo la tarea. La resolución requerida y la precisión de la documentación vienen condicionadas por la escala del levantamiento. La información del objeto no solo la podemos obtener del mismo, sino también de levantamientos anteriores realizados mediante otras técnicas o mediante notas de campo, mapas, etc. Teniendo en cuenta toda la información que hayamos obtenido del objeto se puede tomar una decisión sobre cuál es la técnica más adecuada para realizar el trabajo. Algunas de las razones para elegir el escáner láser son: estructuras de superficies muy complejas, necesidad de entregar documentos 3D, necesidad de medición de superficies en lugar de mediciones puntuales, documentar sin saber a priori el futuro uso de los datos, etc.

En este PFC se ha seleccionado el láser escáner como la técnica más adecuada para la realización del proyecto, ya que se quiere obtener un documento 3D.

- Determinación de las posiciones óptimas del escáner láser: Una vez tengamos toda la información del lugar que se va a escanear y elegido el escaneado láser como la técnica más apropiada para ellos, se tendrá que planificar cuál va a ser el emplazamiento del equipo láser escáner y de los puntos de referencia. Para determinar cuál es la posición más adecuada para el escáner láser se tendrán que tener en cuenta las siguientes condiciones: comprobar que desde su ubicación se cubre la mayor área posible sin obstáculos y que se producen las sombras mínimas posibles, comprobar que se cumplen los alcances mínimo y máximo para la precisión requerida teniendo en cuenta que cuanto mayor sea la distancia al objeto menor será

la precisión y la resolución; evitar ángulos muy agudos ya que en estos casos el haz láser no se refleja tan bien y como consecuencia la precisión será menor.

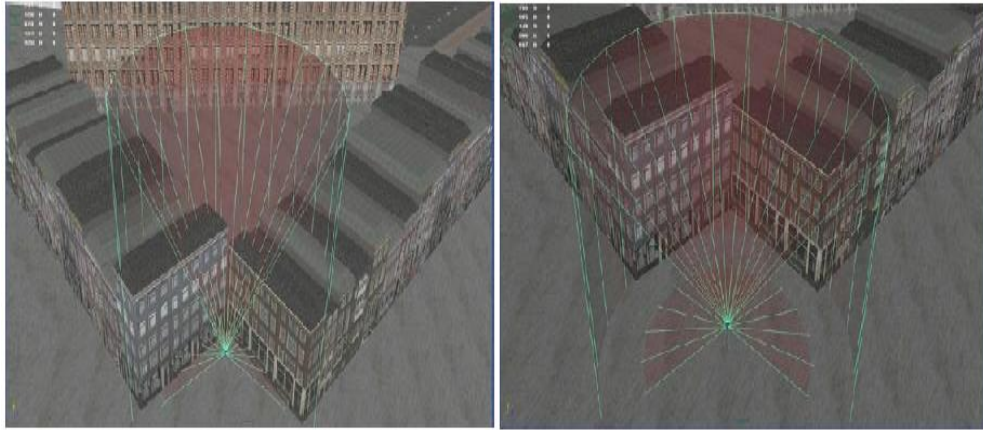


Fig.3.1. (Izquierda) Ejemplo de un mal posicionamiento del escáner: presenta ángulos muy inclinados. (Derecha) Ejemplo de un buen posicionamiento del escáner.

En el croquis (Fig.3.2.) tomado en campo, cuando se realizó la toma de datos, se indican los estacionamientos del equipo, nueve en total.

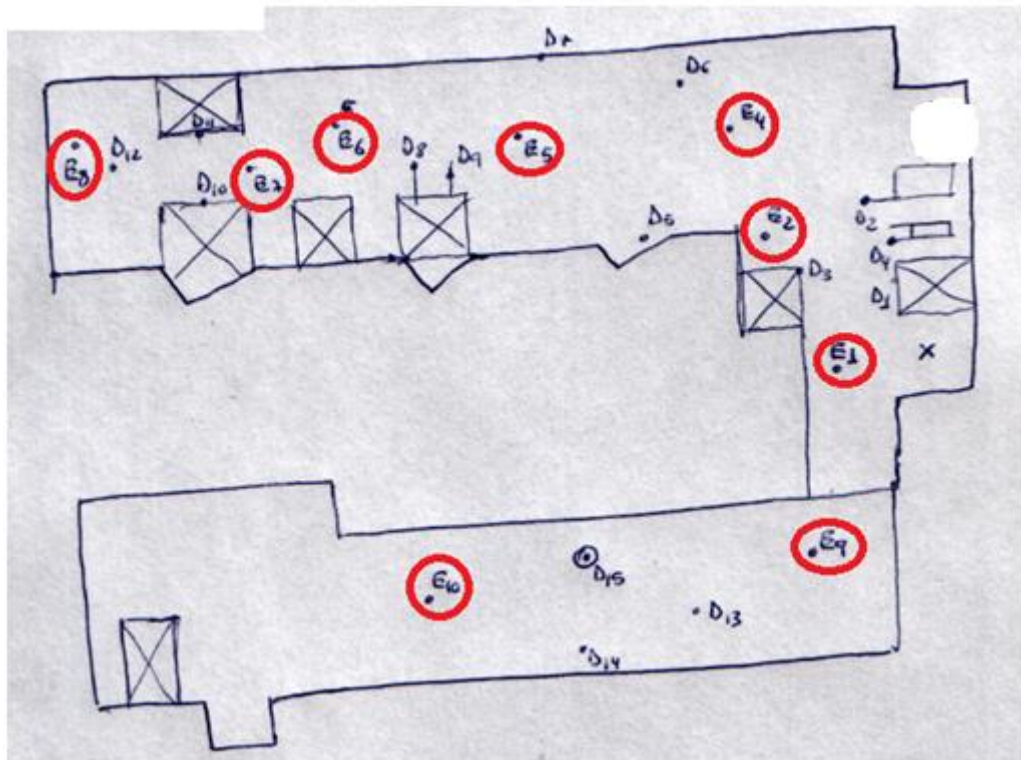


Fig.3.2. Croquis de la azotea, donde se observan las estaciones utilizadas en la toma de datos.

- Determinación de las posiciones óptimas de los puntos de referencia: Los puntos de referencia se utilizan para registrar los escaneados realizados desde diferentes posiciones. Se denominan dianas y las hay de diferentes tipos.

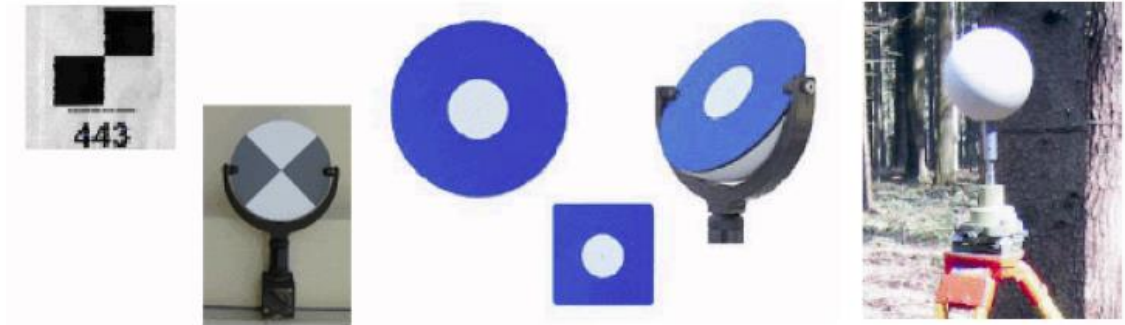


Fig.3.3. Tipos de dianas.

Es importante que las dianas estén esparcidas lo más ampliamente posible, tanto en los ejes X e Y, como en el eje Z.

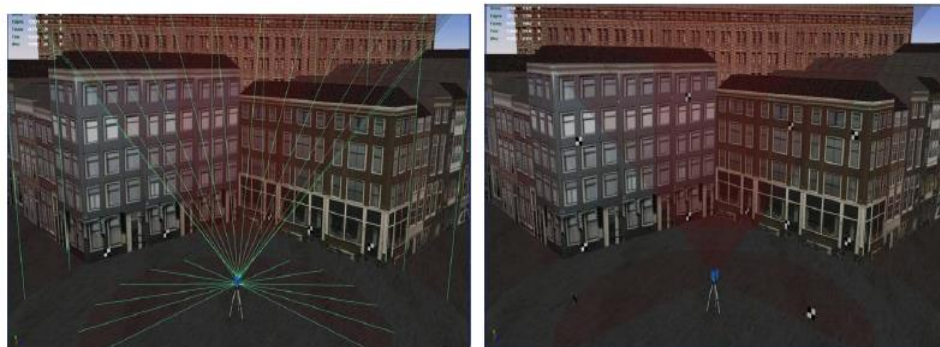


Fig.3.4. (Izquierda) Ejemplo de una mala configuración de las dianas. (Derecha) Ejemplo de una buena configuración de las dianas.

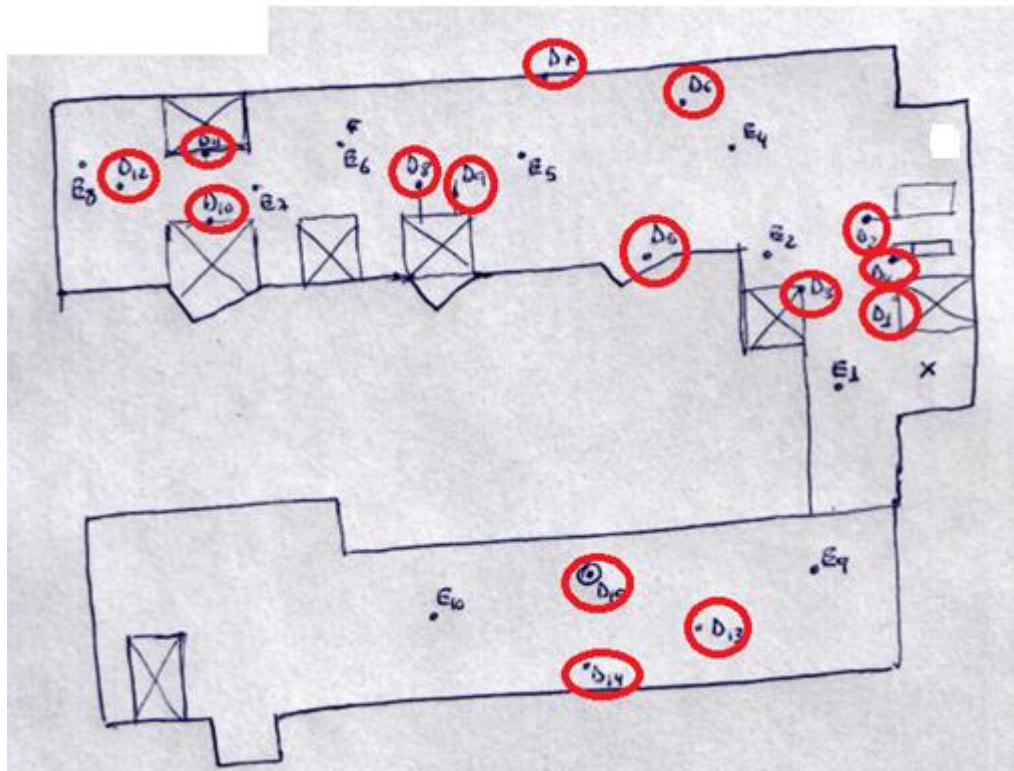


Fig.3.5. Croquis de campo, donde se indican las dianas utilizadas en la toma de datos.

En la figura anterior (Fig.3.5.), podemos observar donde se colocaron las dianas, siendo quince en total. Todas las dianas se colocaron a 0.21m del suelo, excepto la diana número 15 que se situó a 1.17m, la diana 8 a 0.90m y la diana 2 a 0.35m.

### 3.2. TRABAJO DE CAMPO

- Preparación del levantamiento: En esta fase se deberá de decidir cuál es la técnica de registro a usar, pudiendo ser: registro mediante resección de dianas escaneadas, registro mediante estacionamiento en puntos de referencia conocidos o registro utilizando constreñimiento punto a punto.

En el caso de este PFC la técnica de registro que se utilizó fue mediante resección de dianas escaneadas.

- Estacionar el escáner: Su estacionamiento es similar al de una estación total, primero se monta el trípode, luego se sujeta el escáner al trípode y por último se nivela el escáner.

- Conectar el escáner: Antes de encender el escáner, se conectara el escáner a un portátil para poder recibir y almacenar todos los puntos que tome el escáner para que se puedan controlar

---

sus propiedades. Para proporcionar energía al escáner se conectara a una batería o bien a la red eléctrica. Luego se tiene que desbloquear el escáner, ya que suelen tener una llave de bloqueo para protegerlos de movimientos mientras se transportan y por último se encenderá el escáner. Una vez se caliente el escáner podremos abrir el programa del ordenador portátil. Habrá que establecer una conexión entre el ordenador y el escáner, mediante una dirección IP o un USB. Una vez realizados todos estos pasos se podrá iniciar la conexión.

- Ajustar el escáner: Una vez el programa de control del escáner haya establecido una conexión con el escáner, se debe de especificar los parámetros que se van a utilizar en el proceso del escaneado. Los parámetros que se tienen que especificar son los siguientes: el área a escanear (no siempre necesitaremos escanear 360°), la resolución (es la distancia entre dos puntos medidos consecutivamente, y de esta manera podremos determinar la densidad de puntos de la nube), filtrado inicial (filtrado por distancia para asegurar que los datos están dentro del rango de distancia de precisión límite del escáner o filtrado por el valor de la reflectividad de manera que elimine los puntos que tengan poca reflectividad ya que no tendrán bastante precisión).

### **3.3. TOMA DE DATOS**

Antes de comenzar a realizar el escaneado se decidirá cuál será la resolución, es decir, cuál queremos que sea el nivel de detalle (volumen de datos). Para determinar la resolución hay que tener en cuenta cuál es el detalle más pequeño que se desea representar y la precisión máxima que puede ofrecer el instrumental (en nuestro caso el equipo láser escáner utilizado proporciona una precisión de 2 mm cada 25 m, por lo que no tendría sentido tomar puntos cada 1 mm).

La resolución del escaneo es un parámetro que el usuario puede configurar en el instrumento, pero la resolución de la nube de puntos resultante es algo que depende de la situación del instrumento respecto al elemento escaneado. Esto se debe a que la separación entre puntos no es uniforme en toda la superficie escaneada, ya que el modo de dispersión de las mediciones es esférico. Dependiendo del alejamiento y de la orientación de la superficie respecto al escáner, la densidad de puntos en el modelo variara.

- Escanear un objeto:

El proceso de escaneado es automático, únicamente se tiene que presionar el botón de control en el programa de control del escáner y el escáner comienza a tomar puntos. Todos los puntos que toma el escáner se almacenan en el ordenador portátil o también se pueden almacenar en la memoria interna del escáner. Cuando el ordenador portátil está conectado al escáner, a medida que el escáner va tomando puntos se irán mostrando en la pantalla del ordenador en tres dimensiones. Una vez se termine de escanear es conveniente comprobar si existen zonas ocultas en los datos. El tiempo de escaneado dependerá de la resolución y de la dimensión del área escaneado.



---

Además de realizar un escaneado del objeto es importante tomar notas del levantamiento o hacer un croquis del entorno. En el croquis y en las notas del levantamiento deberán de aparecer los objetos escaneados, las posiciones de las dianas numeradas y los estacionamientos del escáner.

- Escaneado de las dianas:

Generalmente las dianas se escanean después de escanear el objeto, aunque cuando se trabaja al aire libre se suele realizar al revés para evitar cualquier movimiento de las dianas. Las dianas se suelen escanear a una mayor resolución para obtener una mayor precisión en la determinación de su centro.

Algunas veces se utilizan puntos de detalle en lugar de dianas, o bien se utilizan dos tipos de señal a la vez. Un punto de detalle es un punto geométrico el cual se puede localizar con mucha precisión gracias a su forma.

### **3.4. PREPARACIÓN DE LOS DATOS**

Una vez en la oficina se analizan los datos. Cada tipo de escáner almacena la nube de puntos de diferente forma, siendo los formatos más comunes los siguientes:

- DXF: formato de *AutoCad*.
- PTX: formato de texto ordenado de *Leica* que contiene las coordenadas xyz, la reflectividad y el color. Algunas veces también contiene la posición del escáner.
- PTS: formato de texto no ordenado de *Leica* que contiene las coordenadas xyz, la reflectividad y el color.
- XYZ: formato de texto no ordenado que contiene las coordenadas xyz.
- XYZRGB: formato de texto no ordenado que contiene las coordenadas xyz y los valores de color (RGB) para cada punto.

Es aconsejable empezar a trabajar con una copia de los escaneados originales y mantener los originales como copias de seguridad. En la fase de preparación de los datos se deben añadir los metadatos a las copias de seguridad, para saber qué es lo que se ha escaneado y cómo se ha almacenado o procesado.

Cuando las dianas se han colocado muy lejos del escáner o cuando las condiciones ambientales son malas, los escaneados a alta resolución de las dianas pueden estar llenos de ruido. Este ruido se debe eliminar antes de realizar el registro, ya que, en caso contrario, afectará a la precisión del registro.

### **3.5. TRATAMIENTO DE LOS DATOS Y RESULTADOS**

Primero mencionar que mediante los datos obtenidos por un escáner láser se pueden realizar diferentes trabajos, desde orto fotos a modelos tridimensionales, por lo que antes de comenzar a manipular los datos tendremos que saber qué es lo que se quiere obtener.



---

La manipulación de los datos en este PFC se ha realizado mediante el programa Trimble Realworks. Mediante este programa se pueden realizar las siguientes opciones:

- **Modelado:** Puede modelar diversas formas para representar el entorno de ejecución utilizando geometrías sencillas conformes a CAD. El modelado de datos agiliza la transferencia de paquetes de datos para su análisis. Los modelados 3D basados en la realidad son la forma más eficiente de realizar simulaciones. El módulo de modelado de RealWorks permite crear modelos parciales o totales de forma muy rápida y es adecuado especialmente para aquellas aplicaciones donde las geometrías modeladas mejoran o completan el impacto y alcance de los resultados finales.
- **Cálculo de volúmenes y superficies:** Puede generar cálculos de volumen en función de un método de cuadrícula de alta precisión, cualquiera que sea la densidad de la nube de puntos. Las características de volumen y el área de superficie se integran en los resultados del programa RealWorks, que se muestran directamente en pantalla. Los cálculos de volumen incluyen cifras de desmonte y terraplén y pueden realizarse entre una superficie escaneada y un plano definido por el usuario, o bien entre dos superficies escaneadas para evaluar el avance de un proyecto periódicamente. Los resultados finales calculados pueden exportarse como secciones, es decir, como polilíneas de generación automática en intervalos especificados por el usuario. Luego automáticamente se genera un informe listo para imprimir.
- **Ortoproyección y rectificación de imágenes:** Mediante la herramienta Ortoproyección se puede proyectar una nube de puntos o malla (texturada) en un plano como una Ortoproyección. Para lograr una mayor productividad cuando se trata de fachadas múltiples, se utiliza la herramienta Ortoproyección para crear simultáneamente ortoproyecciones a lo largo de una polilínea correspondiente a las paredes de por ejemplo, un edificio. La herramienta Rectificación de imágenes permite crear imágenes fotorrealísticas rectificadas capturadas en la vista de la estación, exportar ortoproyecciones e imágenes a CAD.
- **Registro — Alineación:** En el programa RealWorks Survey los escaneados se pueden registrar fácilmente utilizando uno de varios métodos: basado en la nube, basado en el objetivo o por georeferenciación.
  - Para el registro mediante la herramienta de georeferenciación, se pueden asignar coordenadas conocidas a varios puntos en todos los escaneados a registrar. Por ejemplo, los puntos pueden ser centros de objetivos, puntos conocidos o puntos topográficos de otros instrumentos.
  - Para el registro basado en la nube, se seleccionan los mismos puntos en dos escaneados diferentes con la opción de refinar automáticamente el registro en una segunda etapa.

- 
- En el registro basado en el objetivo (cuando corresponde), se puede aprovechar el registro totalmente automático de estación a estación con informes de control de calidad. Este tipo de registro se aplica a poligonales/configuraciones de estación y a estacionamientos libres/trisecciones, así como también a estacionamientos no nivelados.

Si se han utilizado los sensores de Trimble Spatial Imaging con un método de poligonal para capturar datos, la alineación se realizará automáticamente.

Con fines de garantía de calidad, la herramienta “Analizador de objetivos” se puede emplear para comprobar si hay suficientes objetivos o puntos topográficos, para modificar o eliminar los que están instalados de forma incorrecta y para crear objetivos adicionales en la nube de puntos donde dicho objetivo se identifica visualmente como escaneado. Para el informe de resultados, se utiliza la herramienta “Informe de registro” basado en entidades para generar un informe de control calidad completo con formato.rtf.

- Perfiles / Secciones transversales: Perfiles definidos por el usuario para la inspección y control, y generación de perfiles con EasyProfile™.

En RealWorks Survey, se pueden aplicar varias limitaciones en función de las nubes de punto o modelos cuando se generan perfiles y secciones transversales. Por ejemplo, los datos de análisis de un túnel pueden seguir la línea central del mismo. Al trabajar con líneas y secciones transversales, las herramientas EasyLine™ y EasyProfile ofrecen alternativa para la creación automática de dibujos 2D a partir de datos 3D.

La herramienta EasyLine genera polilíneas continuas a partir de nubes de puntos o imágenes. Los dibujos 2D basados en imágenes constituyen un método muy efectivo en el que el usuario dibuja directamente sobre las imágenes en el modo de navegación basado en la estación. Al utilizar al máximo la información sobre imágenes fotorrealísticas, la ejecución de dibujos 2D resulta fácil y rápida.

El módulo “EasyProfile” permite extraer automáticamente vías férreas, veredas, perfiles de calles, barreras medianeras y prácticamente cualquier otro objeto lineal de una nube de puntos. Esta herramienta funciona de la siguiente manera: los perfiles importados de CAD o generados internamente se pueden situar en posición relativa a la nube de puntos utilizando la herramienta “Profile Matcher”.

Cuando EasyProfile está activada, esta herramienta emplea el perfil coincidente para hacer un rastreo de la nube en ambas direcciones y en ángulo. Luego las líneas de característica se extraen automáticamente, de acuerdo con las líneas de ruptura en el perfil guía.

### 3.5.1. FUSIÓN DE LOS ESCANEOS

El objetivo de la fusión de los escaneos, es obtener las uniones de las nubes de puntos escaneadas desde diferentes estacionamientos, de manera que podamos ver el objeto escaneado en 3D mediante la unión de todos los puntos escaneados.

Para comenzar con la fusión de los escaneos primero se tendrán que cargar los ficheros de los escaneos realizados en campo. Para realizar este paso basta con arrastrar a la pantalla del programa todos los escaneos que se quieran, dentro de la opción “Registro”. En este proyecto se han añadido nueve escaneos (B002, B003, B005, B006, B007, B008, B009, B010, B011), lo que significa que se realizaron nueve estacionamientos en campo.

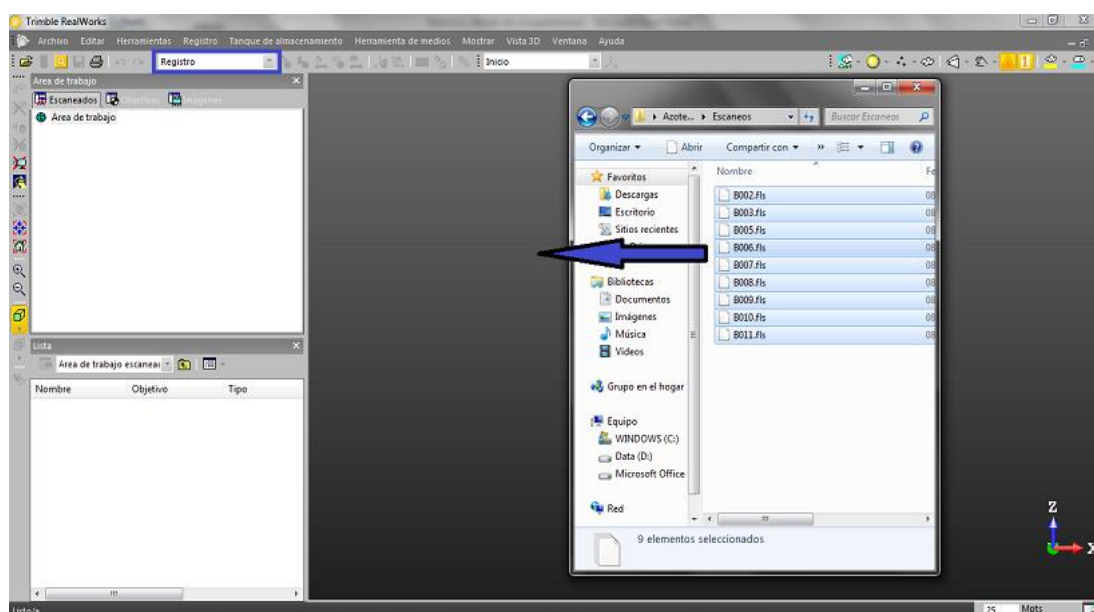


Fig.3.6. Carga de los escaneos realizados en campo.

Para poder cargar los escaneos es necesario guardar el proyecto en un archivo rwp. de manera que se generara un proyecto. A continuación se cargan automáticamente los escaneos seleccionados anteriormente.

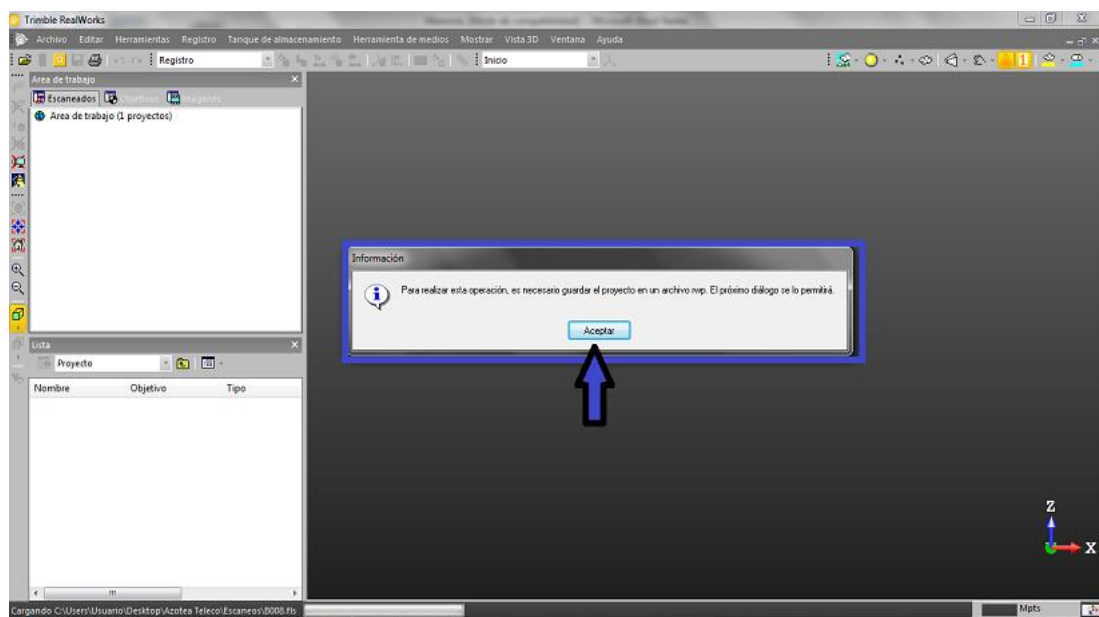


Fig.3.7. Creación del proyecto.

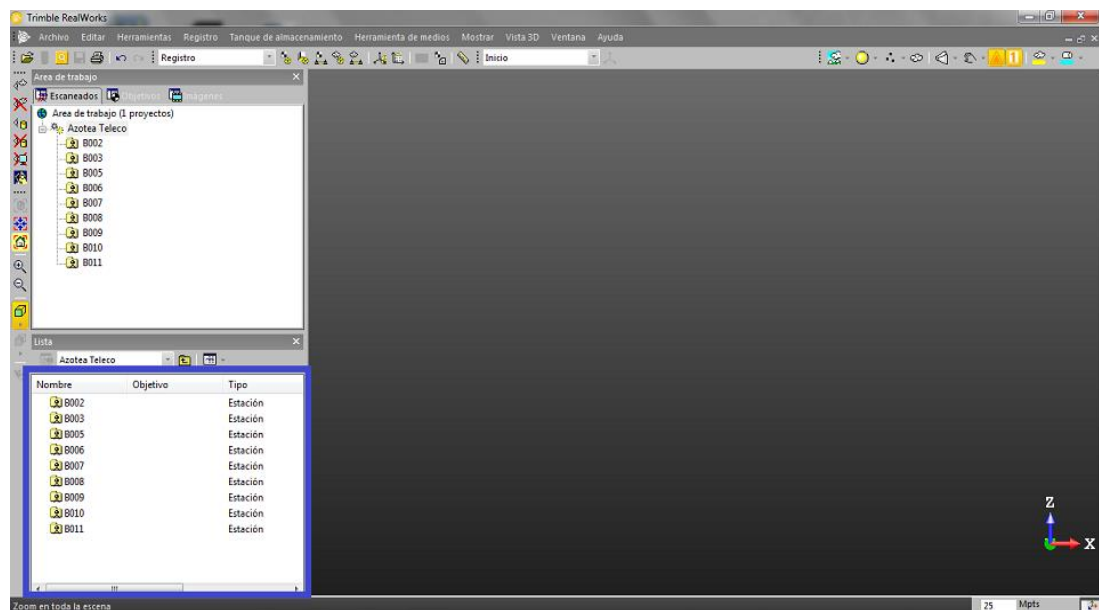


Fig.3.8. Todos los escaneos cargados dentro del proyecto generado.

Cuando tengamos el proyecto creado y los escaneos cargados dentro del proyecto, podremos comenzar a fusionar todos los escaneos. Para poder realizar la fusión de dos escaneos al menos tendrán que coincidir tres dianas. En el programa utilizado, Trimble Realworks version, a las dianas las denomina como objetivos. Primero se realizara la extracción de objetivos de manera automática, de manera que el programa detectará aquellas dianas coincidentes desde estaciones diferentes. Antes de que el programa detecte los objetivos coincidentes se tendrá que indicar cual queremos que sea la estación de referencia (será la estación que tendrá coordenadas (0,0,0)), que en este PFC es la estación B002.

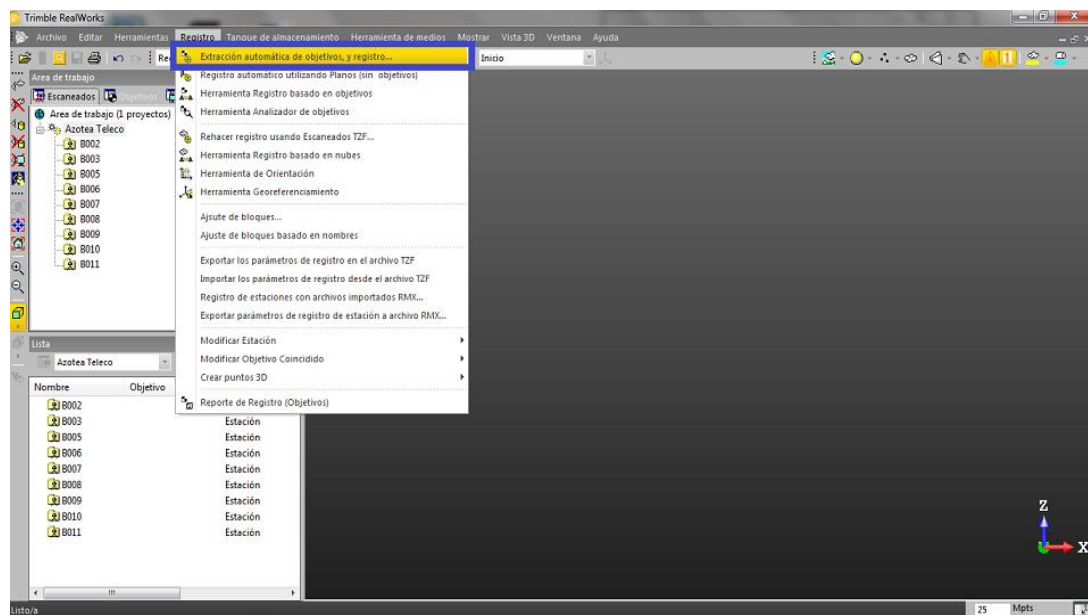


Fig.3.9. Extracción automática de objetivos.

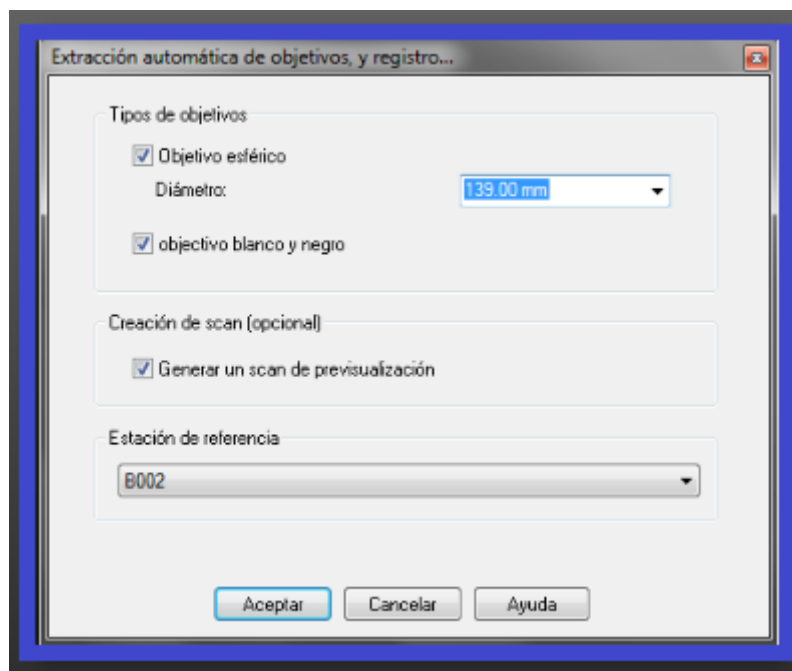


Fig.3.10. Estación de referencia elegida en el proyecto.

Una vez realizada la extracción de objetivos de manera automática vemos que no todas las estaciones son coincidentes, es decir, que hay estaciones que no se han fusionado.

Estación coincidente		Estación no coincidente
Nombre		Error residual
+	B002	0.74 mm
+	B003	0.91 mm
+	B005	0.88 mm

Fig.3.11. Estaciones coincidentes.

Estación coincidente		Estación no coincidente
Nombre		Error residual
+	B006	--
+	B007	--
+	B008	--
+	B009	--
+	B010	--
+	B011	--

Fig.3.12. Estaciones no coincidentes.

La existencia de estaciones no coincidentes se puede deber a que no se han detectado automáticamente al menos tres dianas coincidentes entre dos estaciones. Este problema puede deberse a que en campo no se tomaron suficientes dianas coincidentes entre diferentes estaciones o que a pesar de medirse en campo el software no las puede detectar.

Si el programa no ha registrado una diana medida en campo, la podremos editar mediante la herramienta creadora de objetivos, teniendo en cuenta que es un objetivo blanco y negro.



Fig.3.11. Dianas no registradas automáticamente por el programa utilizado.



Fig.3.12. Dianas editadas, mediante la herramienta creadora de objetivos, teniendo en cuenta que es un objetivo blanco y negro.

Si la estación no tiene suficientes dianas coincidentes con otra estación, entonces se deberán de editar objetivos con la herramienta creadora de objetivos, teniendo en cuenta que es un objetivo puntual. En estos casos tomaremos un punto que se observe desde dos estaciones diferentes.

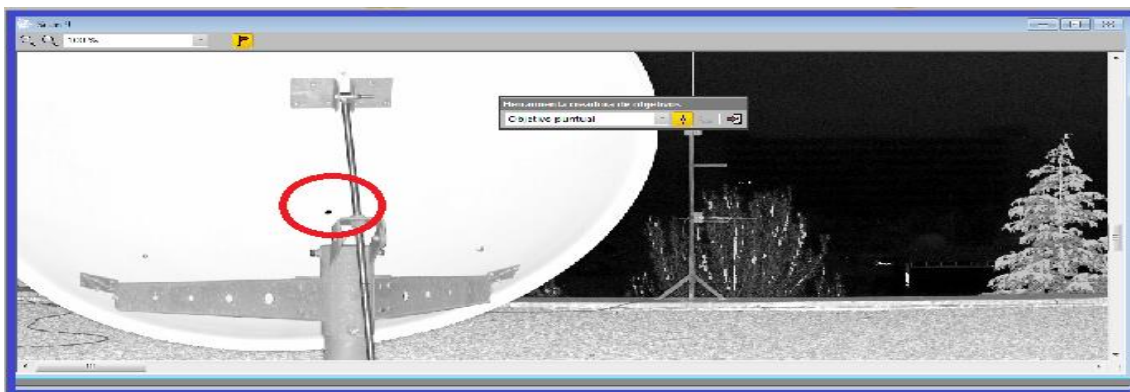


Fig.3.13. Objetivo puntual a medir para la unión de estaciones.



Fig.3.14. Objetivo puntual medido manualmente para la unión de estaciones.



Después de editar las dianas necesarias para que todas las estaciones se fusionen, mediante la herramienta “Informe de registro” podremos obtener una tabla con todas las precisiones, como podemos observar en la Fig.3.15. (Donde todos los valores están en milímetros).

**Informe de Registro (Objetivos)**  
**Informe por estaciones (todas los datos están en mm)**

Nombre objeto	Objetivo	Escaneado por objeto	Error residual	AX	AY	AZ	Error de ajuste	Dist. al escáner
B002								
003	003	3	1.17	0.69	-0.87	-0.35	0.79	11837.71
002	002	2	0.34	0.18	0.17	0.24	0.72	7677.92
001	001	2	0.80	-0.73	0.33	0.03	1.07	8260.58
004	004	3	0.65	-0.33	0.54	0.16	0.86	20701.91
79	029	2	1.39	0.85	-1.03	-0.38	0.00	2518.50
83	030	2	2.76	-1.02	-2.49	0.62	0.00	5900.50
86	031	2	3.52	0.17	3.51	-0.24	0.00	4574.90
B003								
001	001	2	0.88	0.73	-0.33	-0.03	0.93	11764.48
002	002	2	0.34	-0.18	-0.17	-0.24	0.84	9043.98
005	005	2	1.08	0.81	0.70	0.09	1.26	8952.08
003	003	3	1.06	-0.26	0.96	0.37	1.04	6471.36
004	004	3	1.30	-0.65	-1.09	-0.25	1.02	5067.57
B005								
004	004	3	1.12	0.98	0.55	0.08	0.63	8649.31
11	006	2	2.42	-2.42	0.07	-0.15	1.71	17963.55
005	005	2	1.08	-0.81	-0.70	-0.09	0.92	9401.66
003	003	3	0.44	-0.43	-0.09	-0.02	0.82	17665.60
14	007	3	1.16	-0.71	-0.85	0.35	1.38	8235.12
45	008	2	3.70	3.48	1.20	-0.37	0.00	12360.90
B006								
15	006	2	2.42	2.42	-0.07	0.15	1.64	346.67
16	009	3	1.03	1.03	-1.31	-0.18	1.53	20536.46
1	010	2	0.34	0.34	2.87	0.27	0.95	15851.97
18	007	3	-0.55	-0.55	0.25	-0.35	0.77	9869.76
46	008	2	-3.48	-3.48	-1.20	0.37	0.00	3657.10
B007								
19	010	2	2.90	-0.34	-2.87	-0.27	0.86	10997.71
47	009	3	1.80	-1.27	1.26	0.18	0.51	491.97
48	007	3	1.40	1.26	0.0	0.00	08	32230.00
52	011	2	1.64	1.59	-0.35	-0.20	1.09	14026.45
58	014	3	0.88	-0.83	0.28	0.13	0.00	21413.20
B008								
20	011	2	1.64	-1.59	0.35	0.20	1.36	8953.4
21	015	2	2.18	1.58	-1.45	0.36	0.64	9187.78
22	016	2	0.64	0.47	-0.43	0.11	0.65	5281.73
23	014	3	1.20	-0.54	0.97	-0.44	0.69	5480.48
49	009	3	0.24	0.23	0.05	-0.01	0.58	19683.44
B009								
24	015	2	2.18	-1.58	1.45	-0.36	0.74	3326.96
59	014	3	1.88	1.37	-1.26	0.32	0.00	8396.90
60	016	2	0.64	-0.47	0.43	-0.11	0.00	9188.70
B010								
25	019	2	1.95	1.09	1.62	-0.05	1.06	15967.95
61	017	2	3.63	-0.18	-3.63	-0.04	0.00	18858.90
66	018	2	2.21	-0.91	2.01	0.10	0.00	23905.90

80	029	2	1.39	-0.85	1.03	0.38	0.00	17002.10
84	030	2	2.76	1.02	2.49	-0.62	0.00	12249.40
85	031	2	3.52	-0.17	-3.51	0.24	0.00	18894.70
B011								
26	017	2	3.63	0.18	3.63	0.04	1.32	15018.78
27	018	2	2.21	0.91	-2.01	-0.10	1.24	16606.70
64	019	2	1.95	-1.09	-1.62	0.05	0.00	19644.00

### Informe por objetivos

Nombre objeto	Objetivo	Error residual	AX	AY	AZ	Error de ajuste	Dist. al escáner
001							
001	B002	0.80	0.73	0.33	0.03	1.07	8260.58
001	B003	0.80	-0.73	-0.33	-0.03	0.93	11764.48
002							
002	B002	0.34	0.18	0.17	0.24	0.72	7677.92
002	B003	0.34	-0.18	-0.17	-0.24	0.84	9043.98
003							
003	B002	1.17	0.69	-0.87	-0.35	0.79	11837.71
003	B003	1.06	-0.26	0.96	0.37	1.04	6471.36
003	B005	0.44	-0.43	-0.09	-0.02	0.82	17665.60
004							
004	B002	0.65	-0.33	0.54	0.16	0.86	20701.91
004	B003	1.30	-0.65	-1.09	-0.25	1.02	5067.57
004	B005	1.12	0.98	0.55	0.08	0.63	8649.31
005							
005	B003	1.08	0.81	0.70	0.09	1.26	8952.08
005	B005	1.08	-0.81	-0.70	-0.09	0.92	9401.66
006							
11	B005	2.42	-2.42	0.07	-0.15	1.71	17963.55
15	B006	2.42	2.42	-0.07	0.15	1.64	3469.67
007							
14	B005	1.16	-0.71	-0.85	0.35	1.38	8235.12
18	B006	0.70	-0.55	0.25	-0.35	0.77	9869.76
48	B007	1.40	1.26	0.60	0.00	0.84	32230.00
008							
45	B005	3.70	3.48	1.20	-0.37	0.00	12360.90
46	B006	3.70	-3.48	-1.20	0.37	0.00	3657.10
009							
47	B007	1.80	-1.27	1.26	0.18	0.51	4591.97
16	B006	1.68	1.03	-1.31	-0.18	1.53	20536.46
49	B008	0.24	0.23	0.05	-0.01	0.58	19683.44
010							
19	B007	2.90	-0.34	-2.87	-0.27	0.86	10997.71
17	B006	2.90	0.34	2.87	0.27	0.95	15851.97
011							
52	B007	1.64	1.59	-0.35	-0.20	1.09	1026.45
20	B08	1.64	-1.59	0.35	0.20	1.36	8953.04
014							
58	B007	0.88	-0.83	0.28	0.13	0.0	21413.20
23	B008	1.20	-0.54	0.97	-0.44	0.69	5480.48
59	B009	1.88	1.37	-1.26	0.32	0.00	8396.90
015							
24	B009	2.18	-1.58	1.45	-0.36	0.74	3326.96
21	B008	2.18	1.58	-1.45	0.36	0.64	9187.78
016							

60	B009	0.64	-0.47	0.43	-0.11	0.00	9188.70
22	B008	0.64	0.47	-0.43	0.11	0.65	5281.73
017							
61	B010	3.63	-0.18	-3.63	-0.04	0.00	18858.90
26	B011	3.63	0.18	3.63	0.04	1.32	15018.78
018							
66	B010	2.21	-0.91	2.01	0.10	0.00	23905.90
27	B011	2.21	0.91	-2.01	-0.10	1.24	16606.70
019							
25	B010	1.95	1.09	1.62	-0.05	1.06	15967.95
64	B011	1.95	-1.09	-1.62	0.05	0.00	19644.00
029							
79	B002	1.39	0.85	-1.03	-0.38	0.00	2518.50
80	B010	1.39	-0.85	1.03	0.38	0.00	17002.10
030							
83	B002	2.76	-1.02	-2.49	0.62	0.00	5900.50
84	B010	2.76	1.02	2.49	-0.62	0.00	12249.40
031							
86	B002	3.52	0.17	3.51	-0.24	0.00	4574.90
85	B010	3.52	-0.17	-3.51	0.24	0.00	18894.70

Fig.3.15.Datos obtenidos una vez realizada la fusión de toda la nube de puntos.

En los datos obtenidos de la fusión podemos observar dos tipos de error, el error residual y el error de ajuste. El error residual es el cociente entre el error absoluto (diferencia entre el valor verdadero y el valor medido) y el valor medido. Y el error de ajuste es la diferencia entre el valor medido de un punto desde diferentes estacionamientos.

A continuación se muestra cómo queda la fusión de todas las nubes de puntos de la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

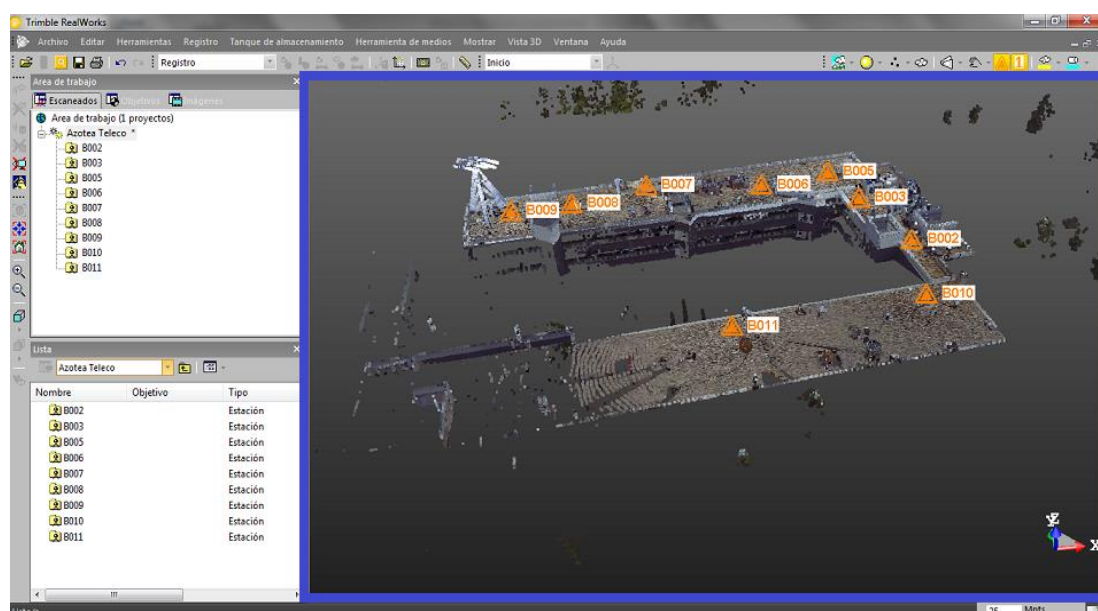


Fig.3.16. Imagen obtenida una vez realizada la fusión de toda la nube de puntos.

Una vez tengamos toda la nube de puntos cargada en el proyecto tendremos que extraer todos los puntos mediante la herramienta “Scan Explorer” dentro de la opción “OfficeSurvey”.

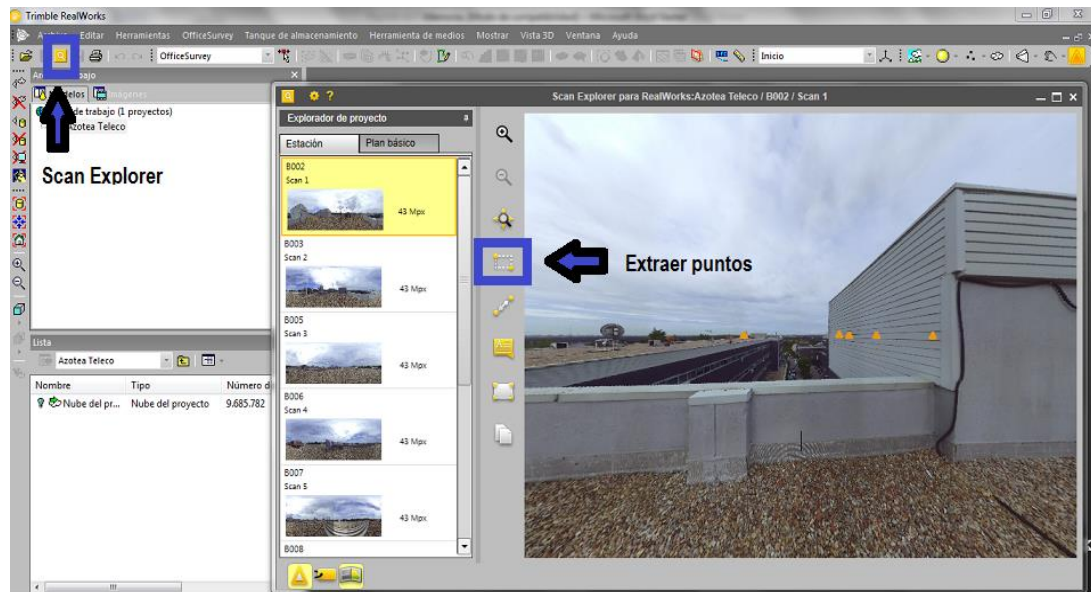


Fig.3.17. Extracción de los puntos de cada estacionamiento.

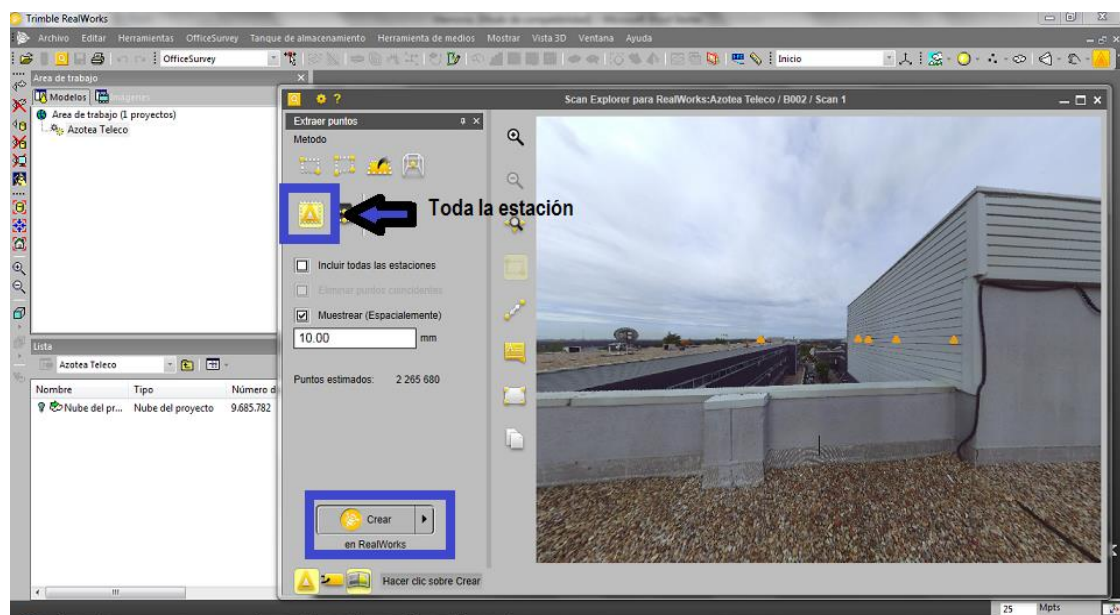


Fig.3.18. Indicación de que se quieren extraer todos los puntos pertenecientes a cada estación.

Este proceso lo tendremos que realizar con todas las estaciones que se han realizado en campo, es decir, nueve veces. Una vez que hayamos extraído todos los puntos pertenecientes a cada estación, podremos analizar la unión de todos los puntos que definen la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

Para determinar cuál es la precisión del ajuste de todos los escaneos, tendremos que observar en el “Informe de Registro” cuál es el caso más desfavorable. Teniendo esto en cuenta podemos concluir que la precisión del ajuste es de 1.71 mm.

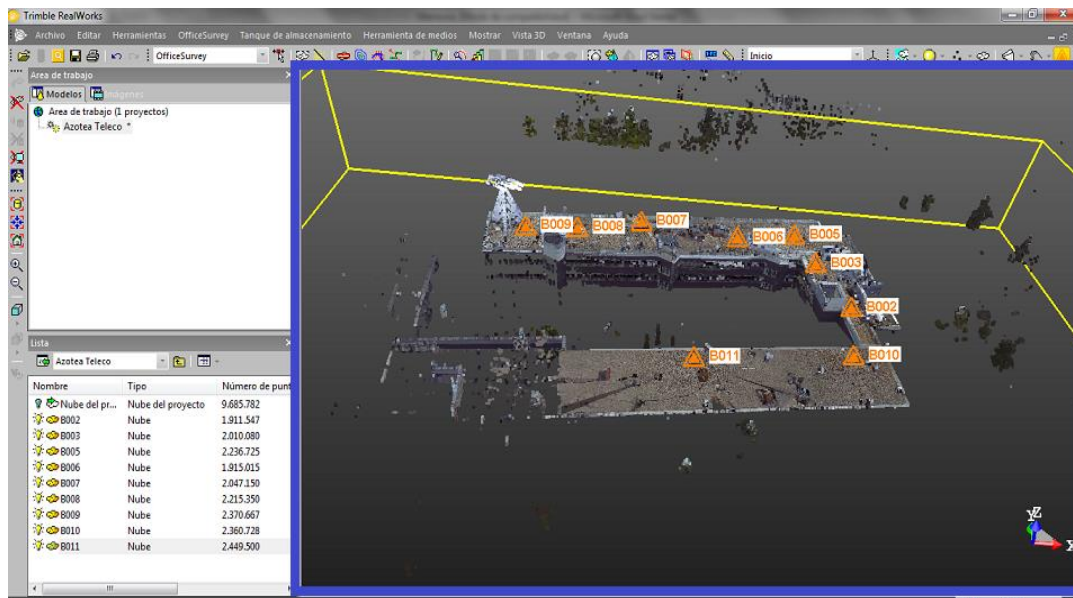


Fig.3.19. Imagen obtenida una vez realizada la extracción de todos los puntos pertenecientes a cada estacionamiento.

A continuación eliminaremos aquellos puntos no pertenecientes a la azotea. Este paso se realizara mediante la herramienta de “segmentación”, trabajando en cada estación individualmente.

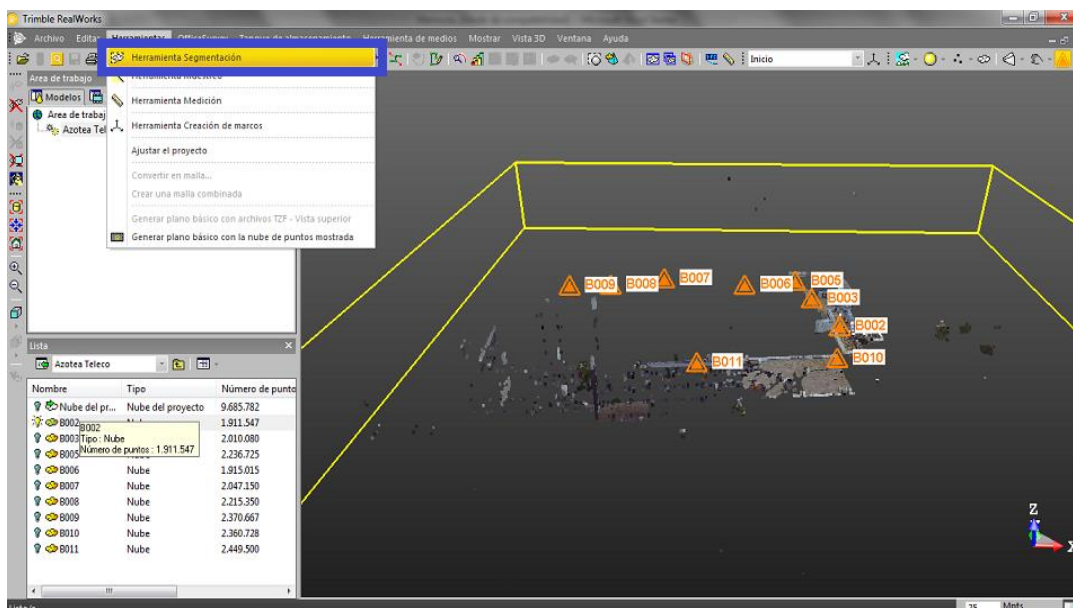


Fig.3.20. Eliminación de los puntos no pertenecientes a la azotea.



Al seleccionar la herramienta “segmentación” tendremos que marcar mediante una poligonal cuales son los puntos que queremos eliminar e indicarle que son los puntos de fuera los que deseamos mantener, es decir, que nos elimine los que estén dentro de la poligonal.

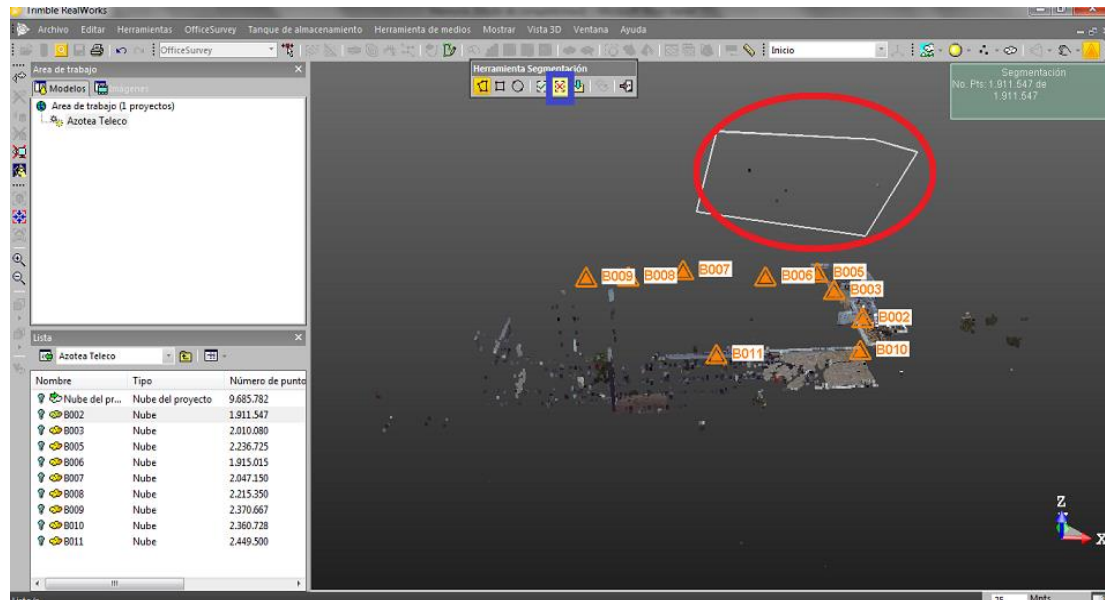


Fig.3.21. Modo de trabajo mediante la herramienta de segmentación.

Realizando este proceso en todas las estaciones, al final obtendremos la fusión de la nube de puntos resultantes, una vez eliminados aquellos puntos que no forman parte de la azotea y por lo tanto que no son importantes para este PFC.

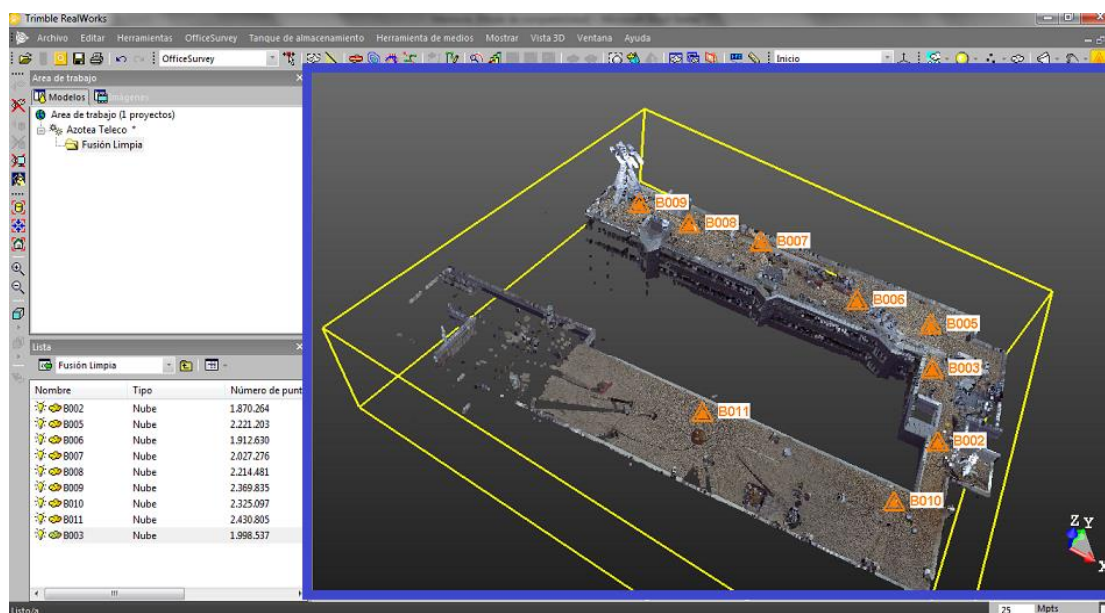


Fig.3.22. Imagen obtenida una vez eliminados los puntos no pertenecientes a la azotea.

### 3.5.2. MODELADO DE LOS OBSTÁCULOS GROSEROS.

Teniendo en cuenta que el objetivo del PFC es determinar si la ubicación de la antenna situada en la azotea es la más adecuada, tendremos que obtener tanto el modelado de la antenna como el modelado de todos los obstáculos que impiden la propagación por el espacio libre de las señales recibidas por la antenna.

El modelado es un proceso que permite ajustar una figura de referencia superficial denominada primitiva geométrica (plano, cono, cilindro, esfera, etc...) al modelo poliédrico 3D obtenido mediante escaneado láser. La idea es aproximar lo mejor posible una primitiva regular y sencilla conocida a una superficie poliédrica irregular y compleja como es un modelo poliédrico 3D.

Primero realizaremos el modelado de la antenna. Como los puntos pertenecientes a la antenna los tendremos en varios estacionamientos, tendremos que unir dichas estaciones mediante la opción de “combinar nubes” para obtener la antenna en un único fichero y poder modelarla.

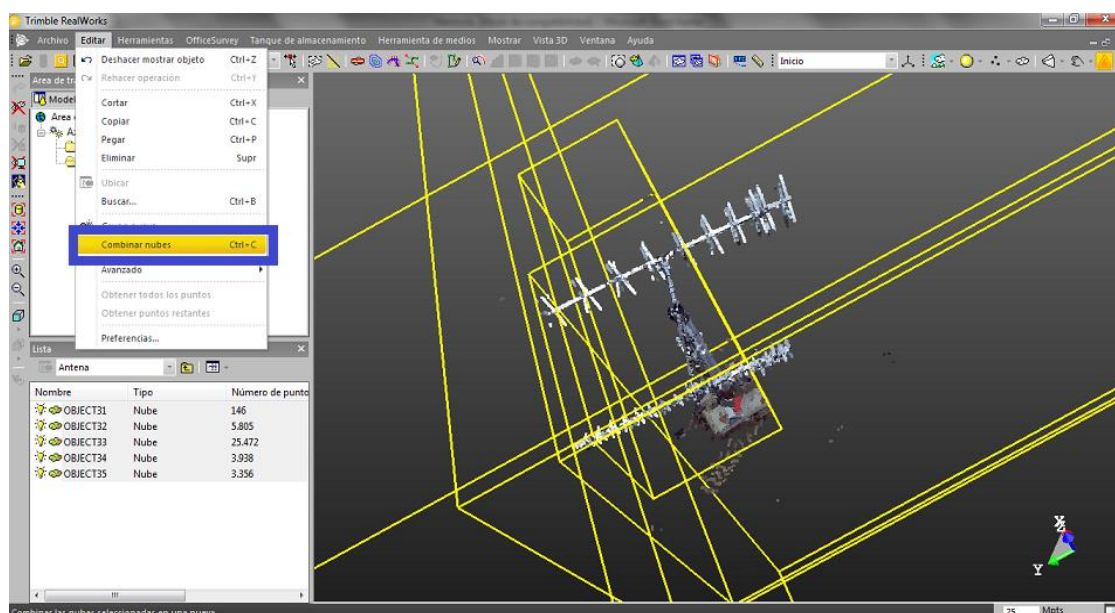


Fig.3.23. Combinación de varios ficheros para poder trabajar desde un único fichero.

Para modelar la antenna trabajaremos dentro de la opción modelado, y tendremos que utilizar la “Herramienta modelador basado en nubes”.



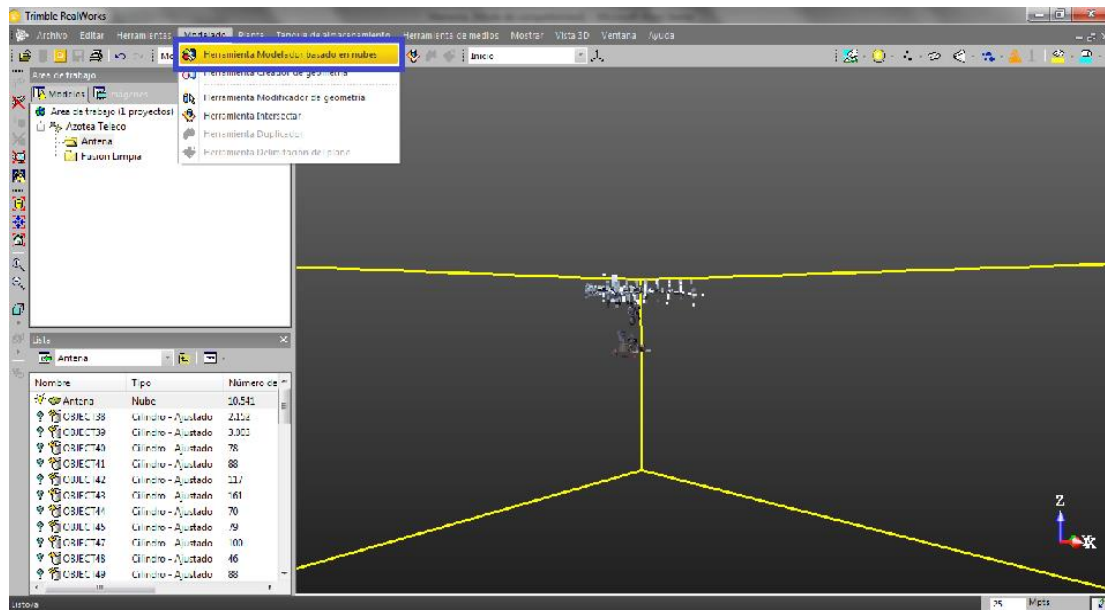


Fig.3.24. Herramienta para poder modelar una nube de puntos.

Dentro del modelado tendremos diferentes figuras geométricas, de manera que tendremos que obtener una figura similar a la obtenida mediante la unión de todos los puntos, pero mediante figuras geométricas. En el modelado de la antena de la azotea únicamente hemos utilizado el cilindro.

Cada vez que realicemos una figura geométrica, obtendremos una desviación estándar. El valor de la desviación estándar hace referencia a cuanto se aproxima el conjunto de puntos a la figura geométrica.

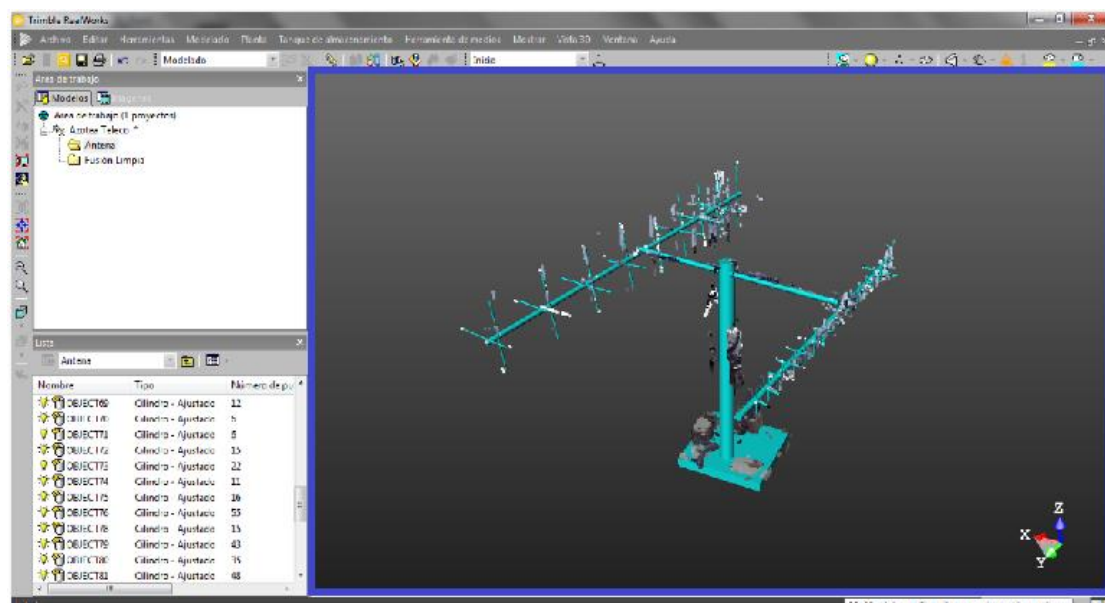


Fig.3.25. Antena modelada.

Cuando tengamos la antena modelada tendremos que añadirla a la nube de puntos que forma la azotea.

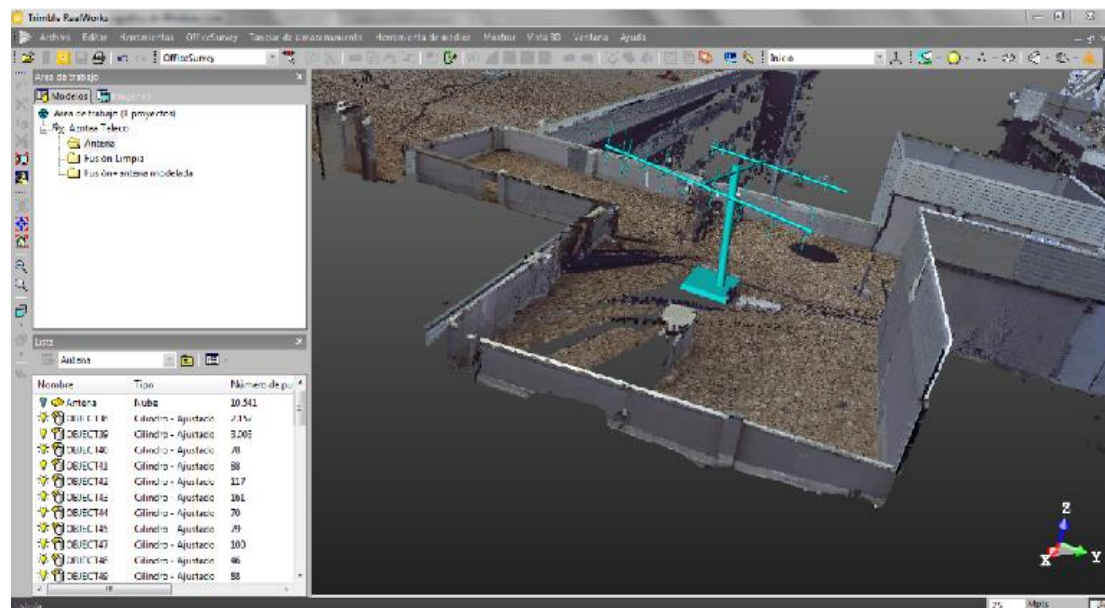


Fig.3.26. Antena modela incluida en la nube de puntos que forma la azotea.

El siguiente paso sería realizar la limpieza del suelo de la azotea, eliminando aquellos elementos que por su tamaño consideremos insignificantes para el objetivo de nuestro proyecto, es decir, eliminaremos aquellos elementos que debido a su tamaño no impiden la propagación por el espacio libre de las señales recibidas por la antena.

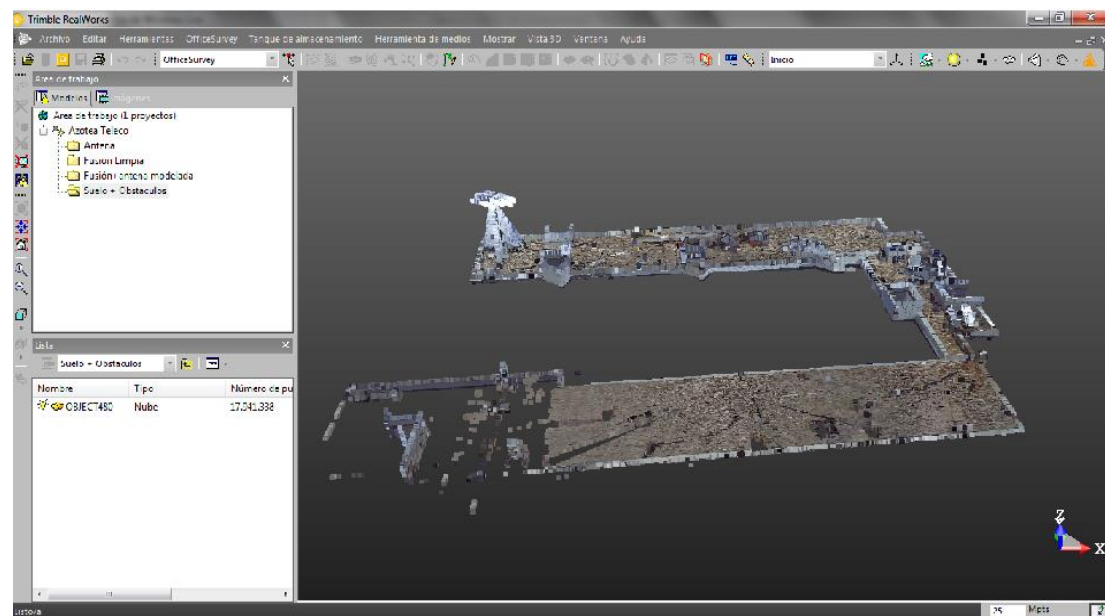


Fig.3.27. Azotea de la ETSIT, eliminando aquellos obstáculos insignificantes para nuestro proyecto.

Una vez tengamos el suelo de la azotea limpio de obstáculos insignificantes para el objetivo de nuestro proyecto, comenzaremos a modelar aquellos obstáculos groseros, como son las casetas y la otra antena. Cuanto más cerca esté un obstáculo de la antena, mayor será la zona donde no se pueda propagar las señales recibidas por la antena. Teniendo en cuenta esto, podemos deducir que la situación de la antena no es la más adecuada, ya que muy próximo a la antena se encuentran dos obstáculos de gran tamaño.

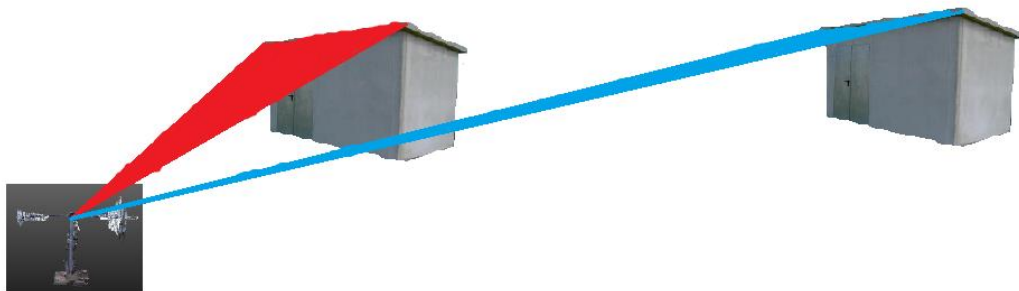
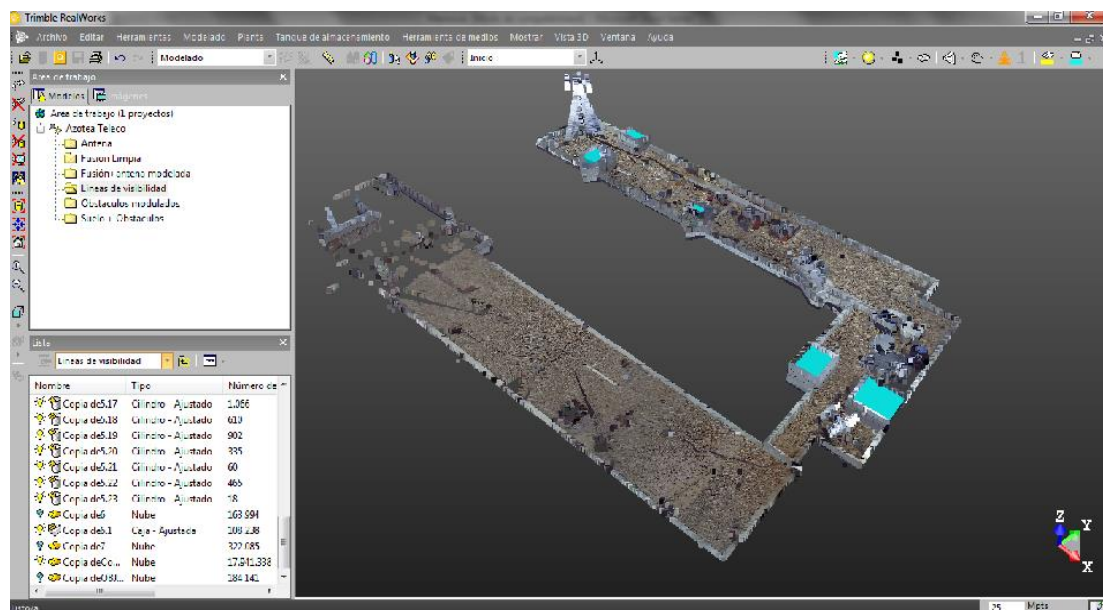


Fig.3.28. Zonas ocultas por los obstáculos groseros.



3.29. Obstáculos groseros modulados.

### 3.5.3. LÍNEAS DE VISIBILIDAD.

Además de estos obstáculos groseros tenemos otros que son los aparatos electrónicos, pero debido a su forma resultan más complejos de modelar y por ello antes de comenzar con el modelado de dichos obstáculos realizaremos líneas de visibilidad. Mediante estas líneas de

---

visibilidad se pretende analizar qué parte de los aparatos electrónicos tenemos que modelar, ya que parte de ellos estarán ocultos por otros obstáculos ya modelados anteriormente, de esta manera facilitaremos el modelado de los aparatos electrónicos.

Las líneas de visibilidad las realizaremos desde el punto intermedio de los extremos de la antena como podemos ver en la siguiente figura.



Fig. 3.30. Extremos de la antena, para el cálculo de su punto medio, que será el centro de todas las líneas de visibilidad.

Para calcular el centro desde donde realizaremos todas las líneas de visibilidad, utilizaremos la herramienta “creador de geometría”, dentro de “modelado”.



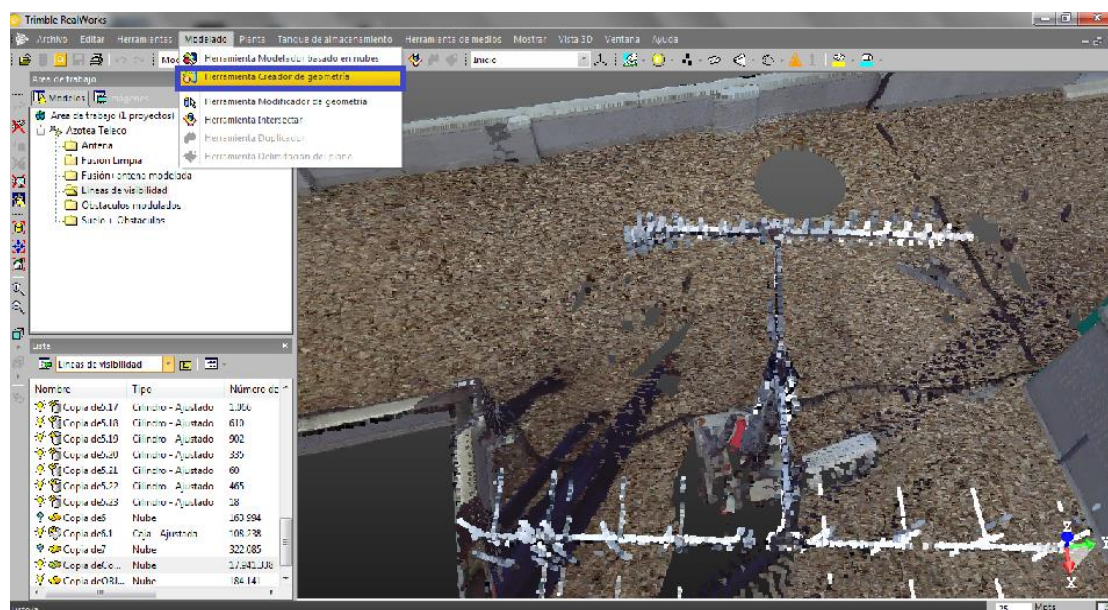


Fig. 3.31. Herramienta creador de geometría.

Seleccionada la herramienta “creador de geometría”, realizaremos una línea desde los extremos de la antena, como hemos mencionado anteriormente, para poder calcular su centro.

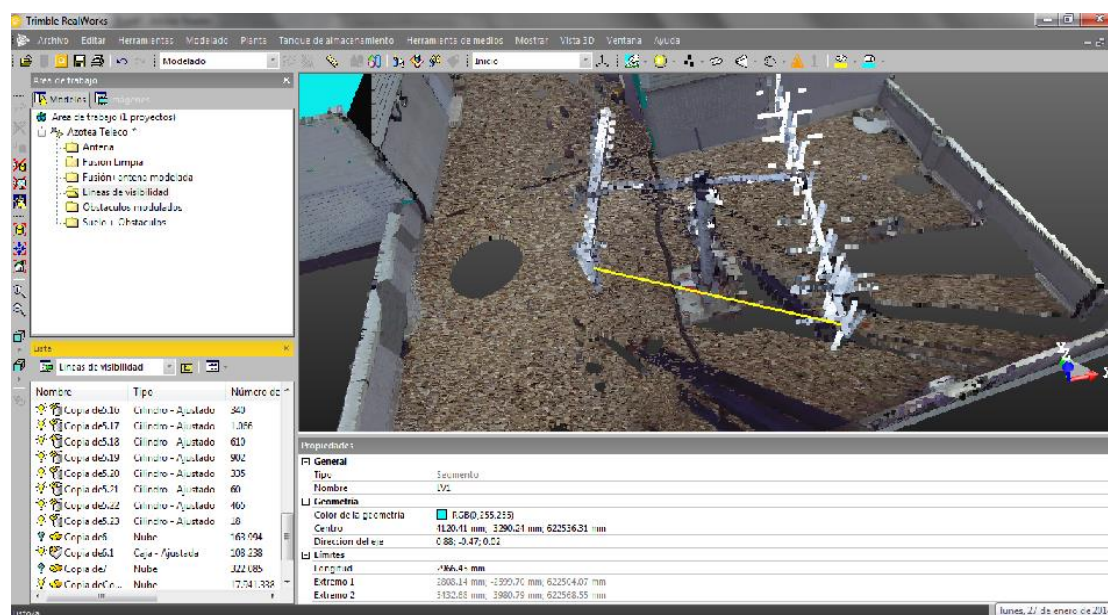


Fig. 3.32. Línea desde los dos extremos de la antena.

Una vez realizada la línea que va desde ambos extremos de la antena, en sus propiedades podremos ver cuáles son las coordenadas de los extremos de la línea y también las coordenadas del centro de la línea, que será el centro de todas las líneas de visibilidad.

Propiedades	
General	
Tipo	Segmento
Nombre	LV1
Geometría	
Color de la geometría	RGB(0,255,255)
Centro	4120.41 mm; -3290.24 mm; 622536.31 mm
Dirección del eje	0.88; -0.47; 0.02
Límites	
Longitud	2966.45 mm
Extremo 1	2808.14 mm; -2599.70 mm; 622504.07 mm
Extremo 2	5432.68 mm; -3980.79 mm; 622568.55 mm

Fig. 3.33. Propiedades de la línea, donde se observa el centro de la misma.

Conocidas las coordenadas del centro de las líneas de visibilidad que crearemos posteriormente, podemos posicionar dicho punto mediante la herramienta “creador de geometría”, seleccionando que lo que queremos dibujar es un punto con las coordenadas calculadas anteriormente.

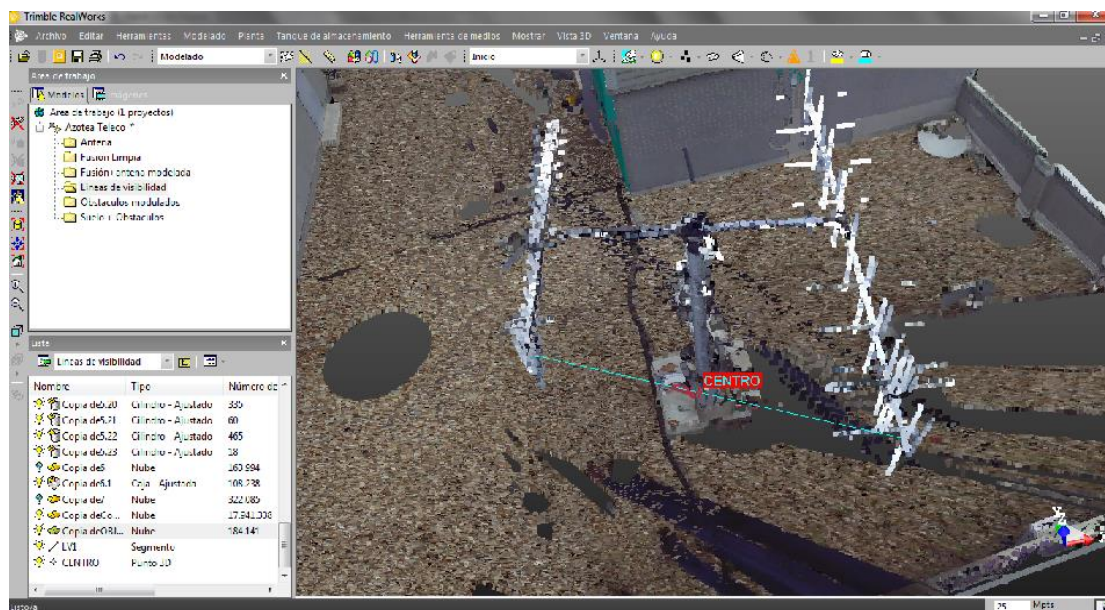


Fig. 3.34. Centro de todas las líneas de visibilidad.

Desde el punto creado realizaremos líneas de visibilidad a todos los extremos de todos los obstáculos modelados hasta el momento.



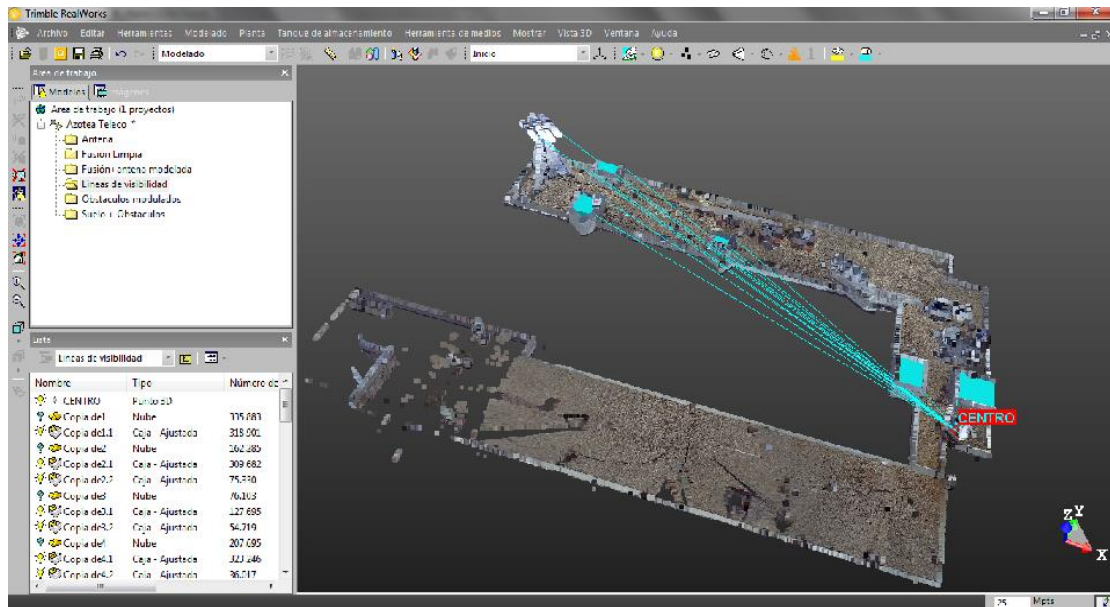


Fig. 3.35. Líneas de visibilidad a todos los obstáculos groseros modelados.

### 3.5.4. SUPERFICIES DE OCUPACIÓN.

Una vez tengamos todas las líneas de visibilidad, tendremos que generar planos, para poder visualizar mejor qué zonas son las que quedan ocultas por los obstáculos modelados. Para generar estos planos, superficies de ocupación, utilizaremos la herramienta “Creador de geometría” dentro de modelado. Lo primero que tendremos que realizar es generar un plano y posteriormente habrá que seleccionar tres puntos por los que queremos que pase el plano.

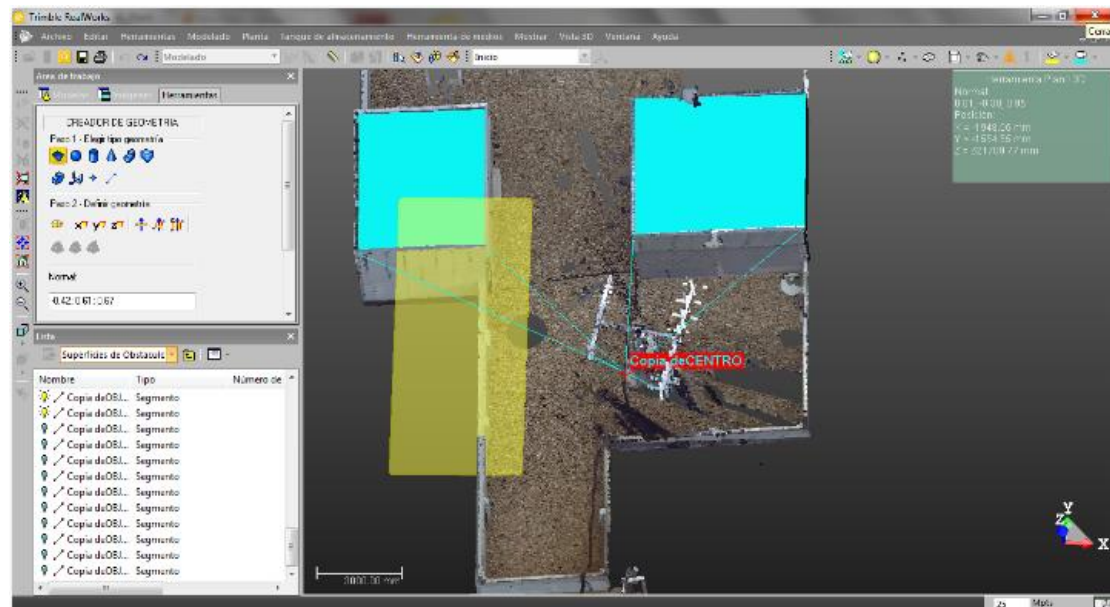


Fig. 3.36. Generar un plano mediante la herramienta “Creador de geometría”.



Cuando hayamos generado el plano, seleccionaremos la herramienta “Delimitación del plano”.

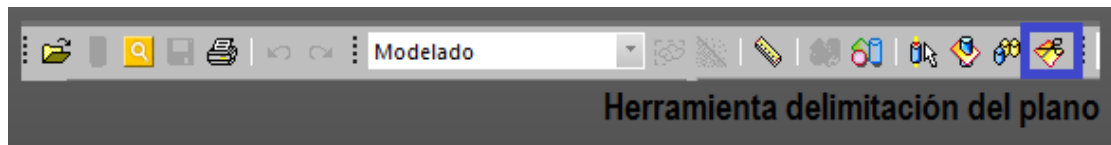


Fig. 3.37. Herramienta “Delimitación del plano”.

Dentro de esta herramienta podremos seleccionar las esquinas del plano, para desplazarlas hasta los tres puntos por donde queremos que pase el mismo.

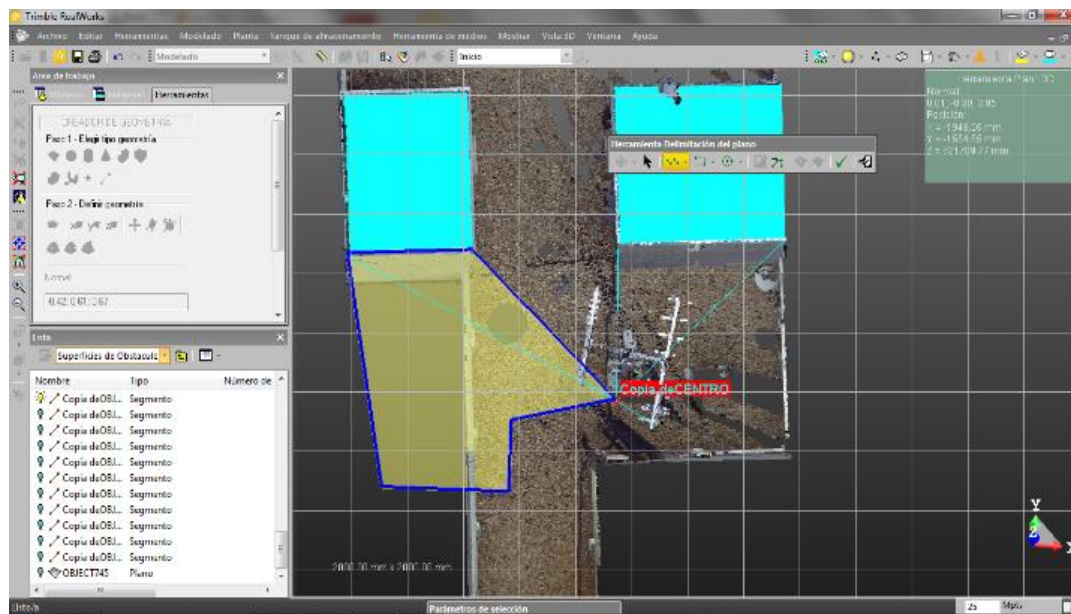


Fig. 3.38. Hacer que coincidan tres puntos del plano generado con los tres puntos del triángulo.

Cuando el plano formado pase por los tres puntos elegidos, realizaremos una poligonal formada por esos tres puntos pinchando nuevamente en el primer punto de la poligonal y le daremos a la herramienta “Configurar como curva externa”.

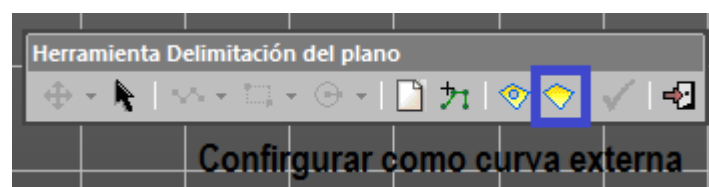


Fig. 3.39. Herramienta “Configurar como curva externa”.

Mediante esta herramienta lo que conseguimos es el plano formado por las líneas de visibilidad.

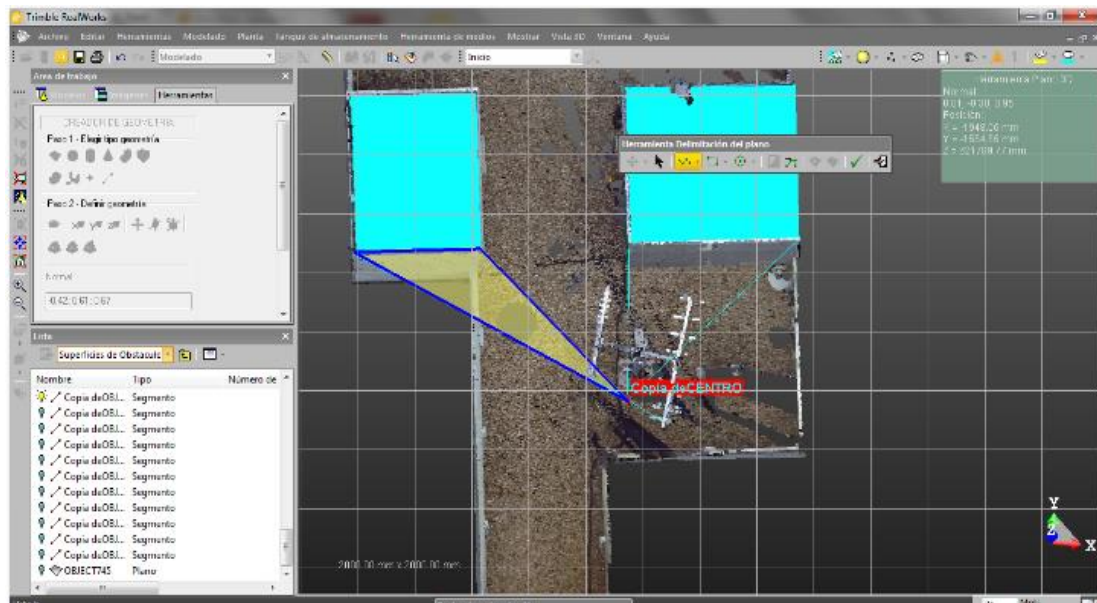


Fig. 3.40. Plano generado entre las líneas de visibilidad.

Este proceso lo realizaremos con todos los triángulos formados por las líneas de visibilidad, y de esta manera generaremos las superficies de ocupación.

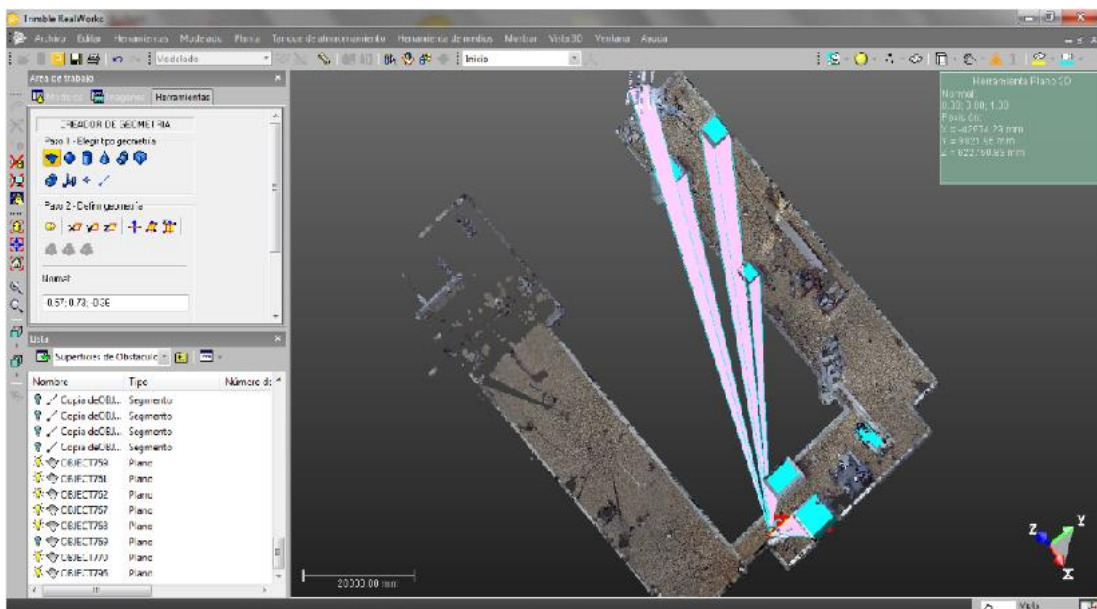


Fig. 3.41. Superficies de ocupación.

Si nos situamos en la posición del centro de las líneas de visibilidad vemos que los objetos que nos quedan por modular apenas se ven, pero tendremos que modularlos aunque sea de un modo menos preciso.

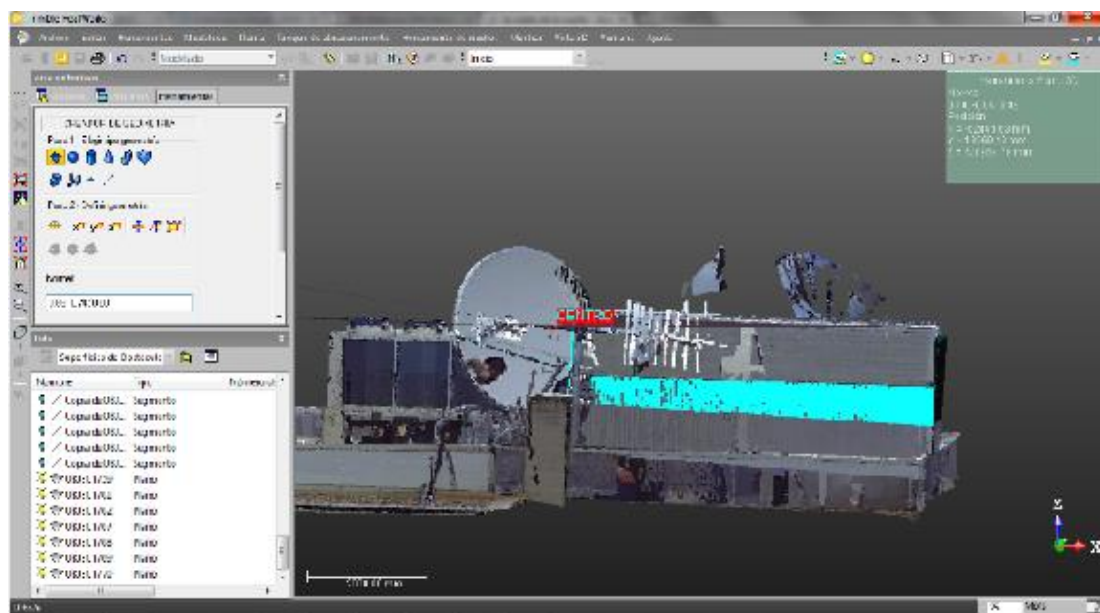


Fig. 3.42. Visibilidad de los obstáculos groseros desde la posición de la antena.

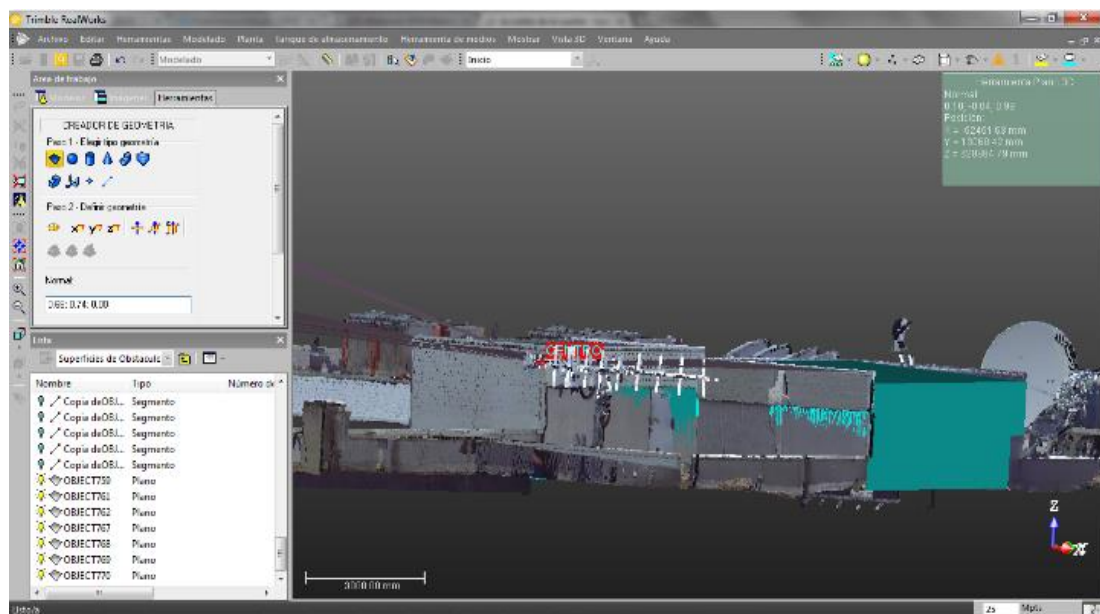


Fig. 3.43. Visibilidad de los obstáculos groseros desde la posición de la antena.

Modelamos el resto de obstáculos groseros, mediante la herramienta “Modelador basado en nubes”.

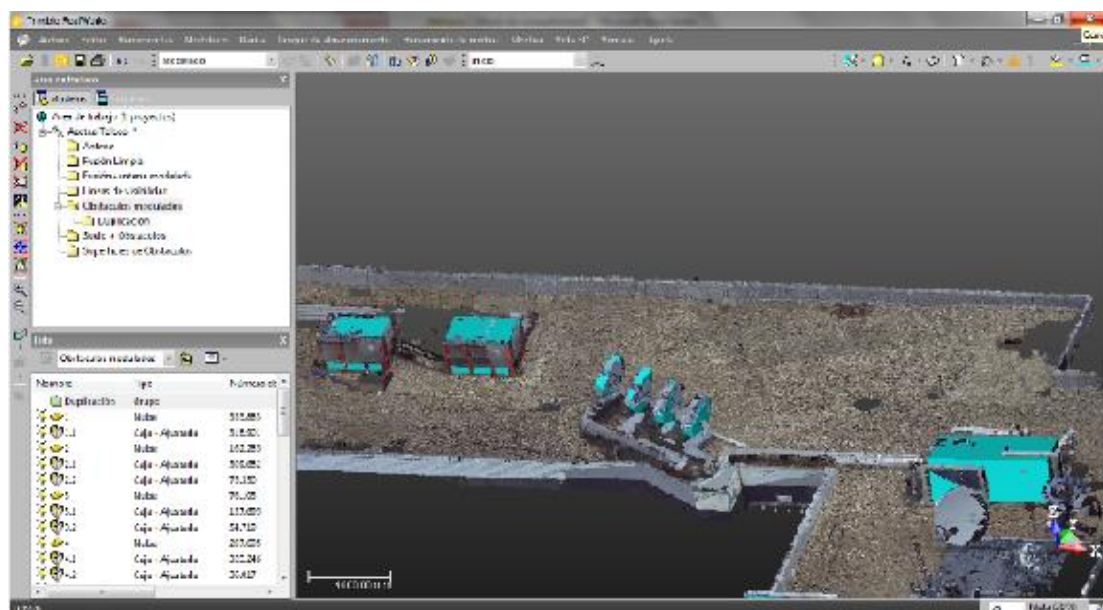


Fig. 3.44. Obstáculos groseros modelados.

Entre los obstáculos modelados, explicaremos más detenidamente el objeto que aparece en la figura. Utilizaremos la herramienta “Modelador basado en nubes” pero en lugar de elegir la “Caja” como el tipo de geometría a generar, como en el resto de obstáculos, elegiremos “Extrusión”, pudiendo generar mediante una polilínea la forma que queremos representar.

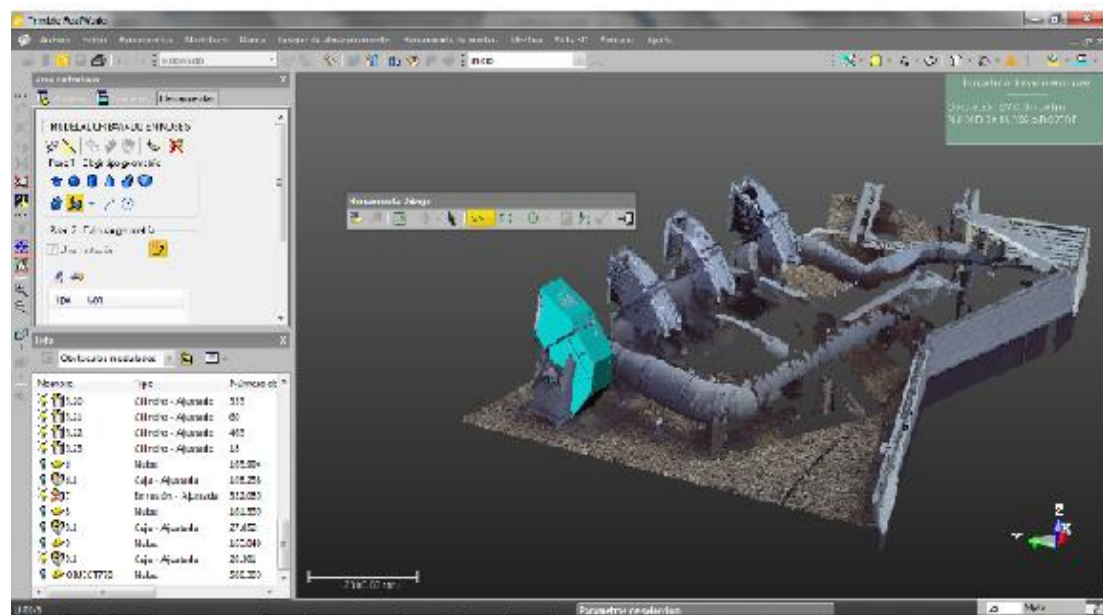


Fig. 3.45. Modelado de un obstáculo grosero mediante la herramienta “Extrusión”.

Para poder repetir la forma generada utilizaremos la herramienta “Duplicador”.



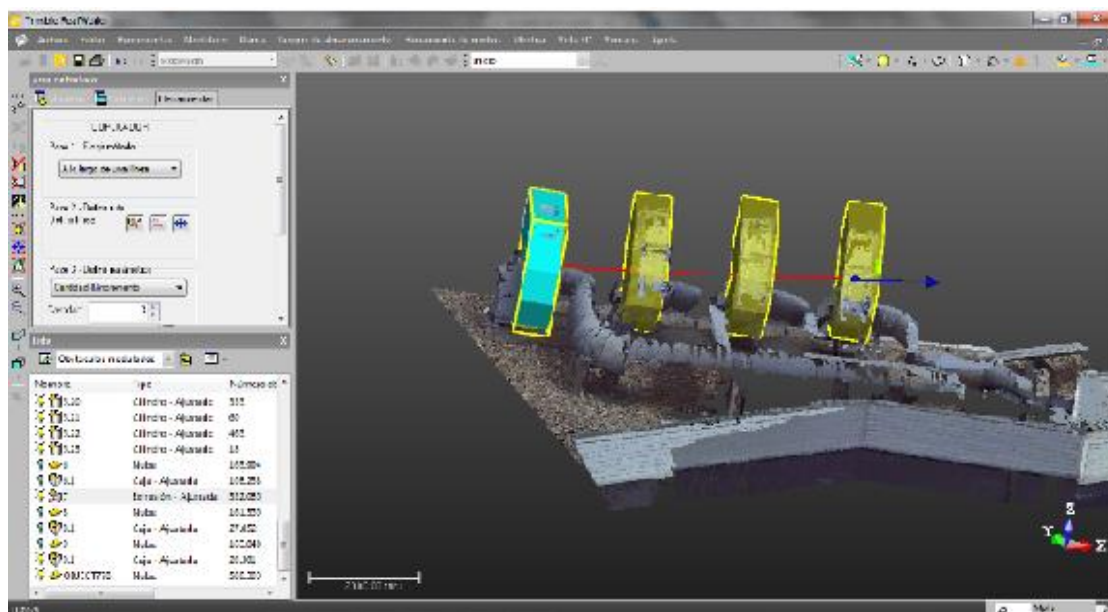


Fig. 3.46. Modelado de un obstáculo grosero mediante la herramienta “Duplicador”.

Una vez hayamos repetido el objeto tantas veces como necesitemos, en este caso tres veces más, podremos modificar cada objeto en forma y dirección mediante la herramienta “Modificador de geometría”.

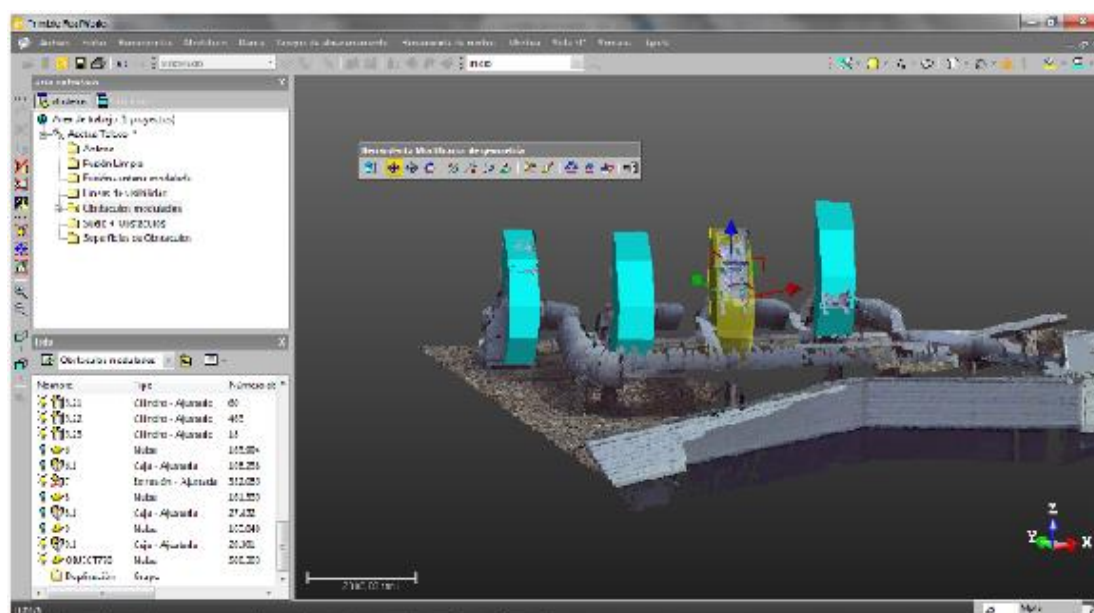
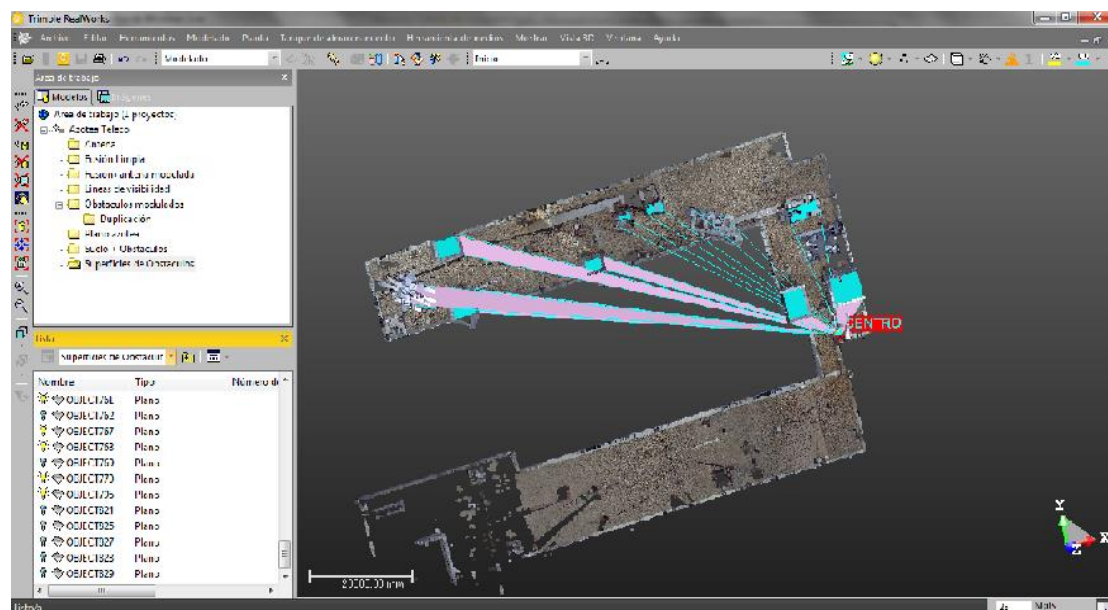


Fig. 3.47. Modificar la forma de un obstáculo modelado mediante la herramienta de “Modificador de geometría”.

Con estos obstáculos modelados también tendremos que generar líneas de visibilidad y posteriormente los planos entre esas líneas de visibilidad, denominadas como superficies de ocupación.



Para crear el plano que pase por el suelo de la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación utilizaremos la herramienta que hemos utilizado para crear los planos denominados anteriormente como superficies de ocupación.

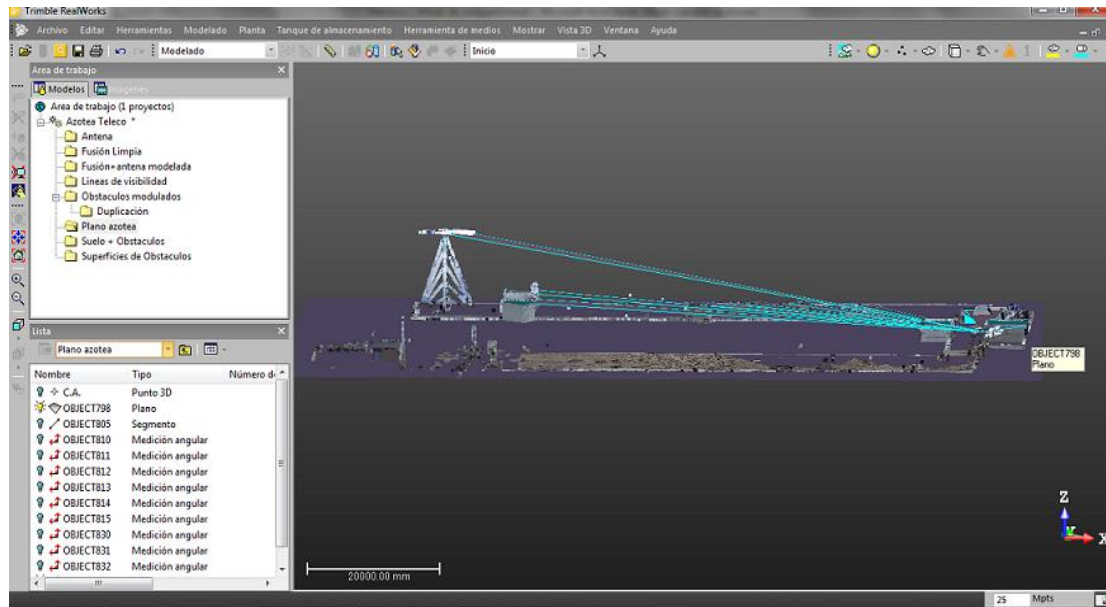


Fig.3.50. Crear un plano que pase por el suelo de la azotea de la ETSIT.

Una vez creado el plano que pase por la azotea proyectaremos el centro de las líneas de visibilidad a dicho plano, y desde ese punto calcularemos los ángulos. El punto que hemos creado lo hemos denominado C.A.

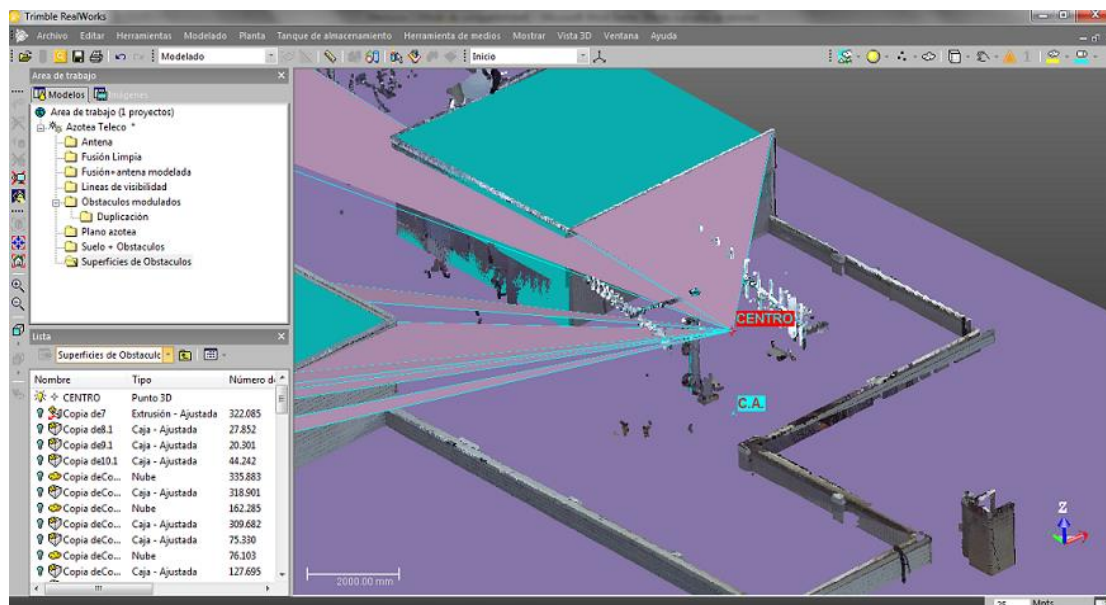


Fig. 3.51. Proyectar el centro de las líneas de visibilidad al plano de la azotea.



---

Creado el plano que pasa por la azotea crearemos los ángulos formados por los obstáculos groseros hasta dicho plano. Para crear estos ángulos se utilizara la herramienta “Medición”.

Comparando las dos imágenes siguientes podemos decir que cuanto más próximo esté la antena del obstáculo el ángulo formado por el obstáculo y la azotea será mayor, y como consecuencia la zona en la que no se propagaran las señales aumentará.

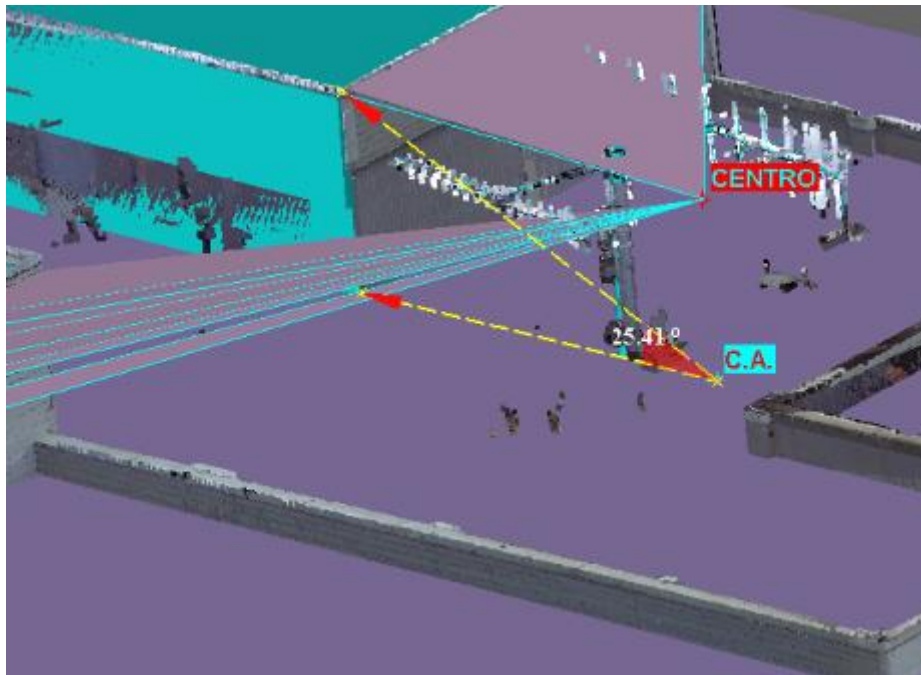


Fig. 3.52. Ángulo formado entre el plano de la azotea y la superficie de ocupación de un obstáculo próximo a la antena.

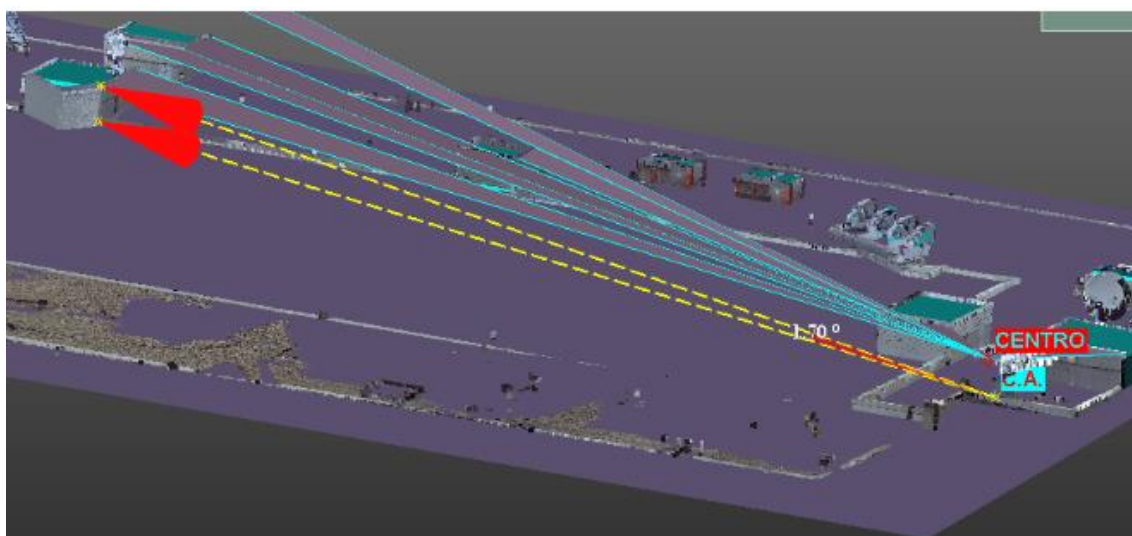


Fig. 3.53. Ángulo formado entre el plano de la azotea y la superficie de ocupación de un obstáculo alejado a la antena.

El siguiente paso sería crear un “Mapa de cielo” para ver cuáles son las sombras de comunicación que se generan. De este modo se puede analizar la altura más óptima para la antena desde la misma posición. Para ello, primero tendremos que crear un plano que contenga al suelo de la azotea mediante la herramienta “Creador de geometría” y después modificar su forma para que tenga la misma forma que la azotea, como realizamos con las superficies de ocupación.

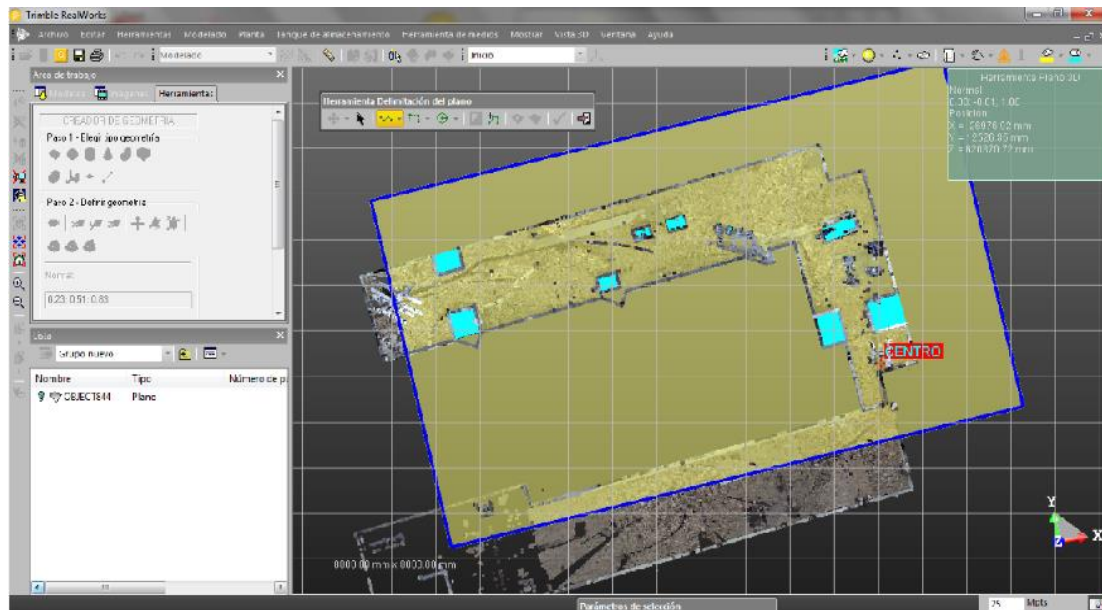


Fig. 3.54. Plano que contiene al suelo de la azotea dela ETSIT.

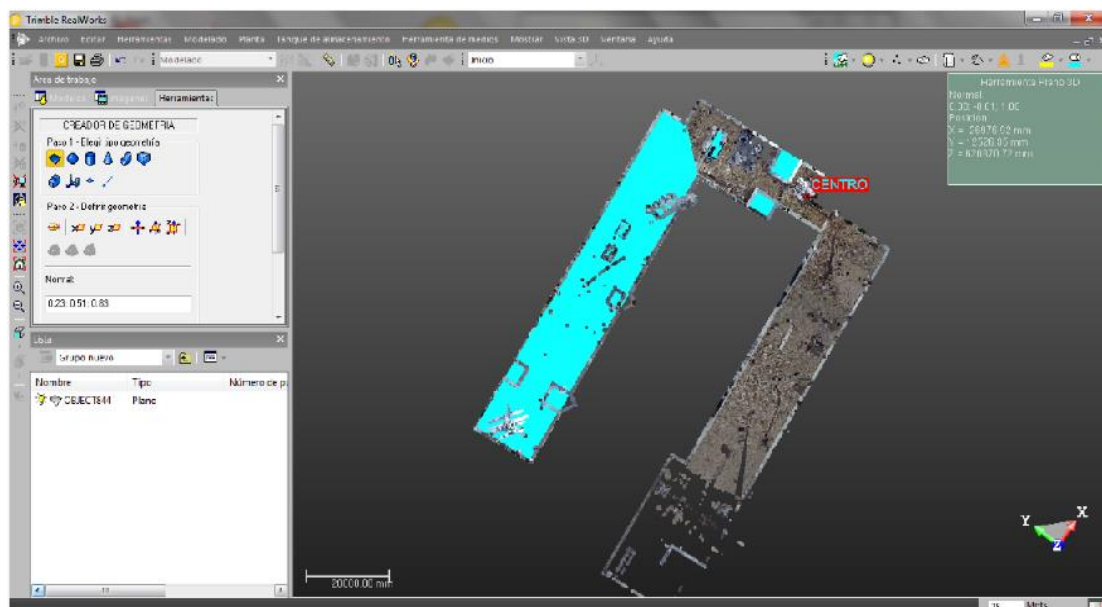


Fig. 3.55. Modificar la forma del plano.

Repitiendo este proceso, podremos obtener varios planos que conjuntamente formaran la azotea.

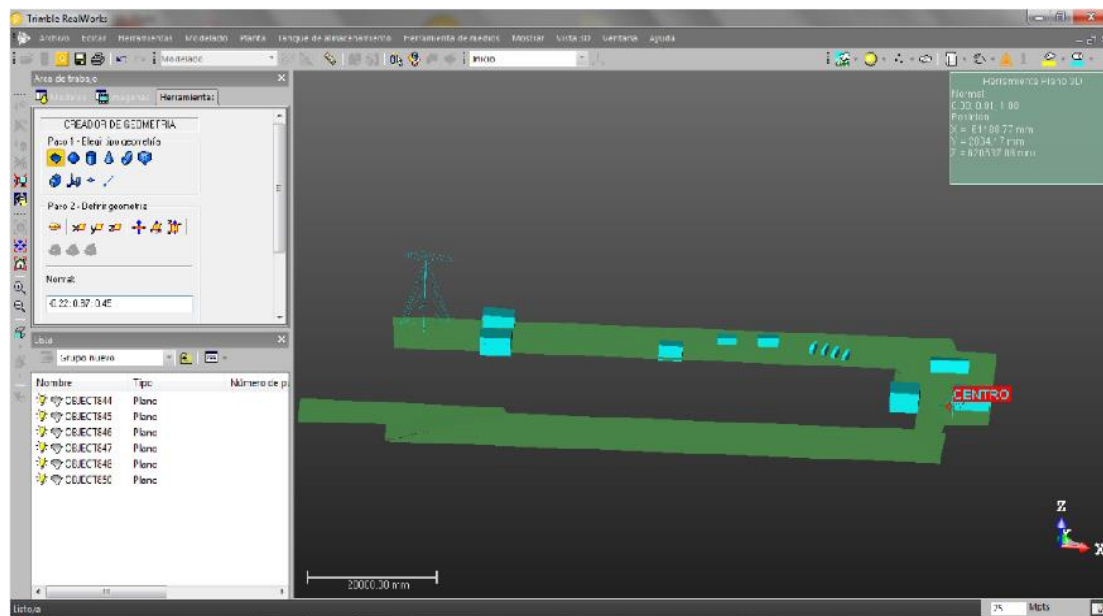


Fig. 3.56. Plano con la forma del suelo de la azotea de la ETSIT.

Una vez tengamos creada la forma de la azotea, realizaremos una esfera que contenga tanto al suelo de la azotea como a los obstáculos que se encuentran en ella.

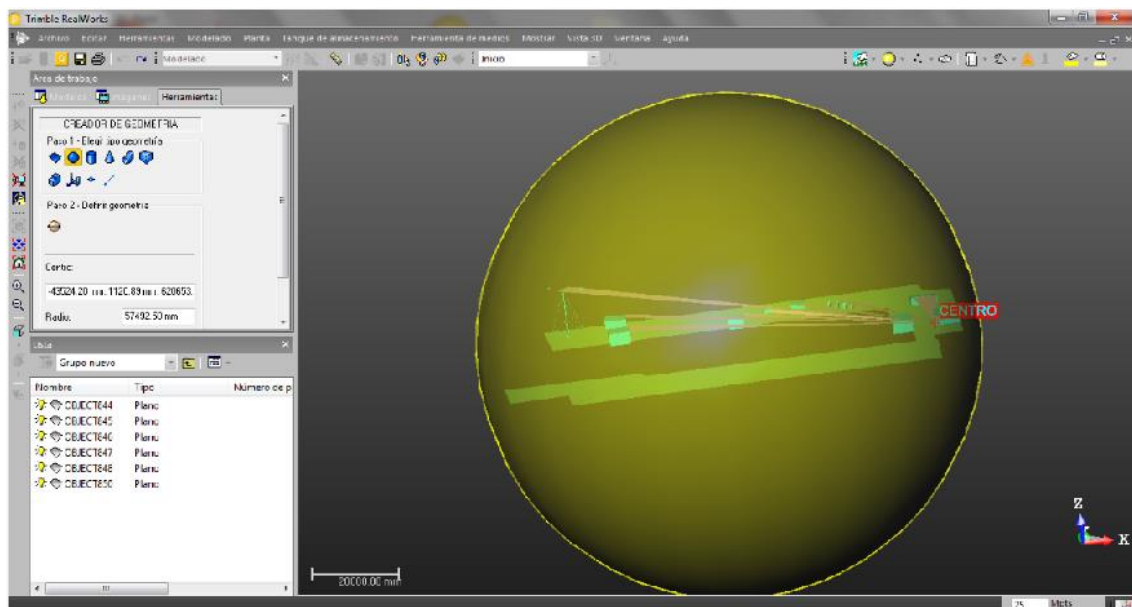


Fig. 3.57. Esfera que contiene la azotea de la ETSIT.

Al crear la esfera, al ser un elemento con color sólido no podremos observar los objetos que se encuentran en su interior.

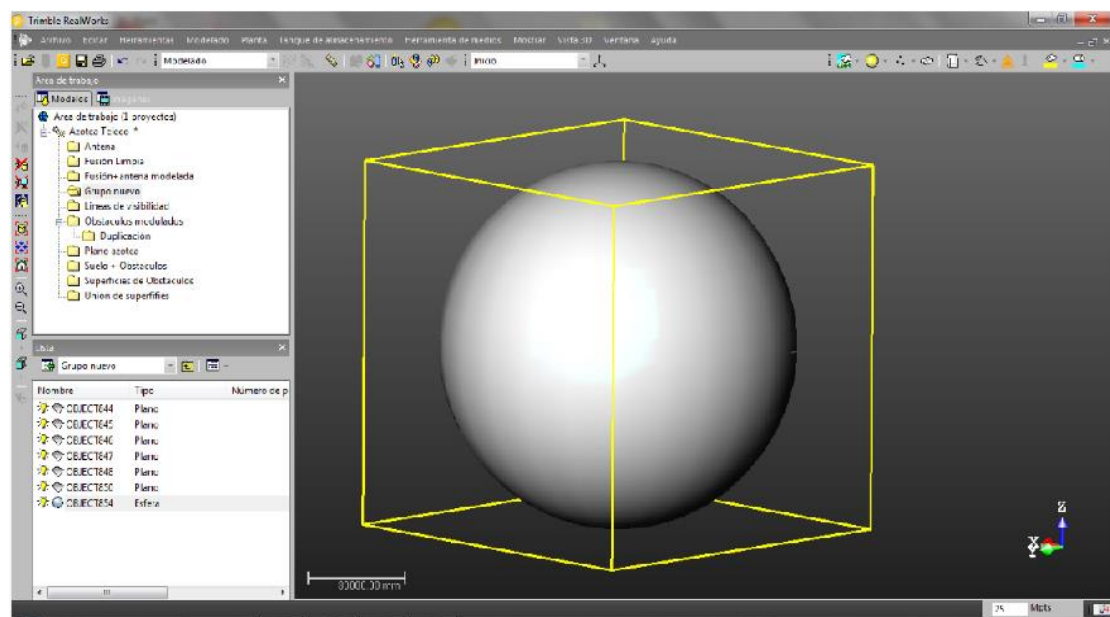


Fig. 3.58. Esfera sólida.

Para poder ver los objetos de su interior, tendremos que convertirla en una superficie de estructura alámbrica.

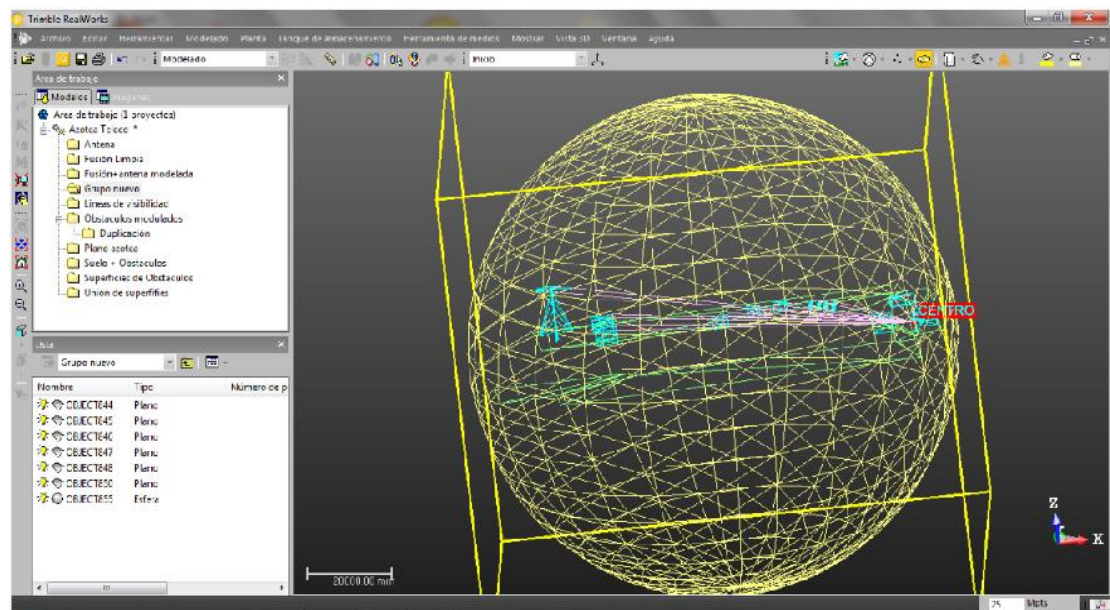


Fig. 3.59. Esfera con estructura alámbrica.

El siguiente paso sería convertir la esfera en una bóveda mediante la herramienta “Modificador de geometría”.



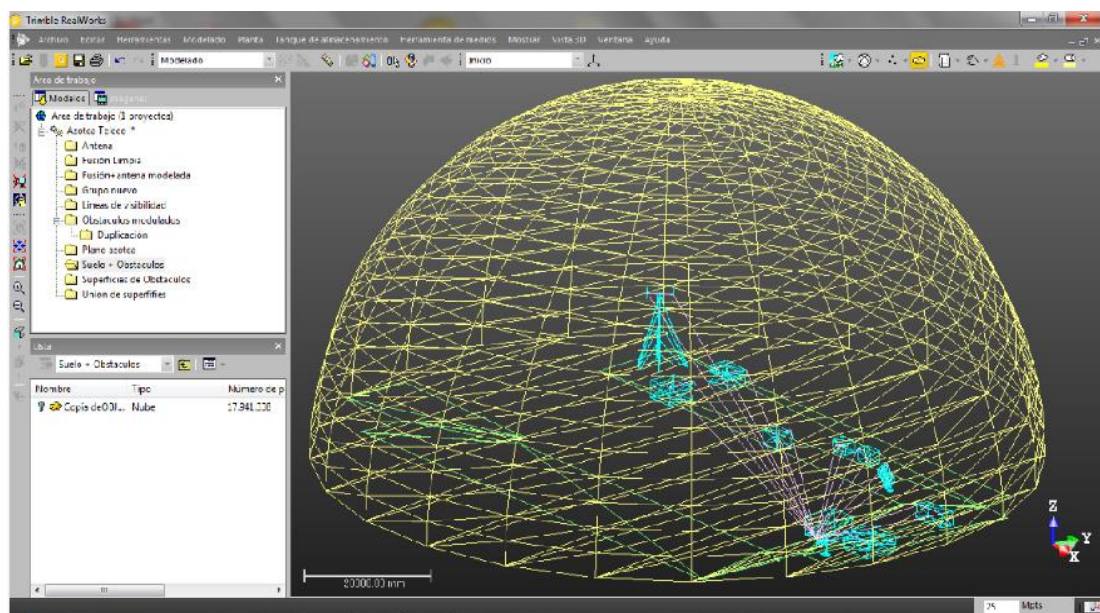


Fig. 3.60. Bóveda que contiene a la azotea de la ETSIT.

Creada la bóveda tendremos que moverla al centro de la antena. Para realizar esto veremos las propiedades del centro que creamos anteriormente para realizar las líneas de visibilidad, y sustituiremos las coordenadas del centro de la bóveda por las coordenadas del centro de las líneas de visibilidad.

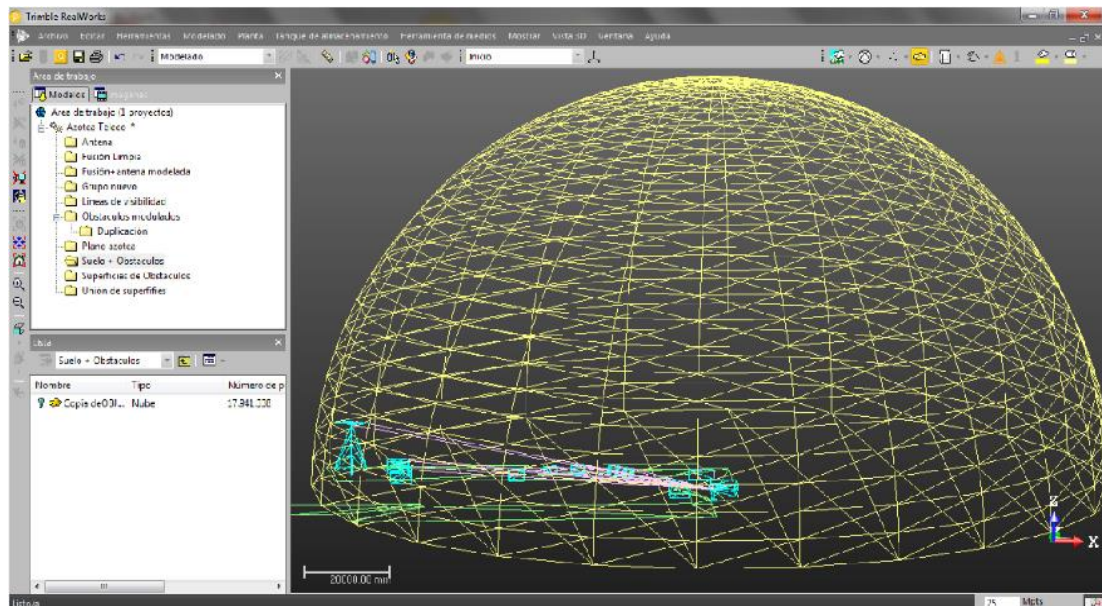


Fig. 3.61. Mover la bóveda al centro de las líneas de visibilidad.

Una vez tengamos la bóveda centrada en el centro de la antena, el siguiente paso sería ver cuál es la altura óptima de la antena. Para ello, mediremos la altura del obstáculo más próximo a la antena y la altura de la antena.

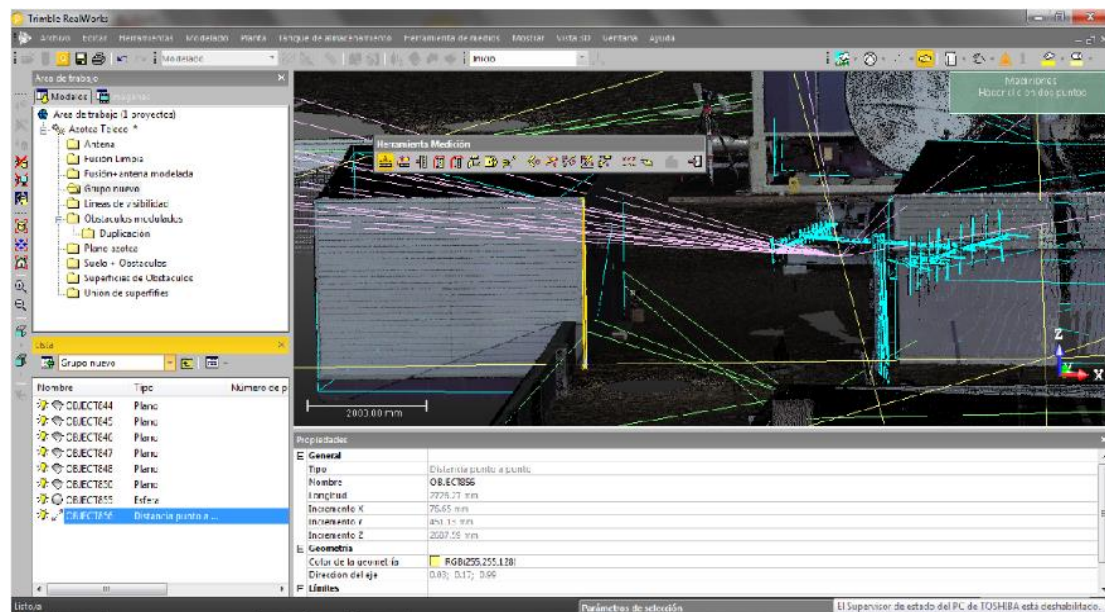


Fig. 3.62. Altura del obstáculo más próximo a la antena.

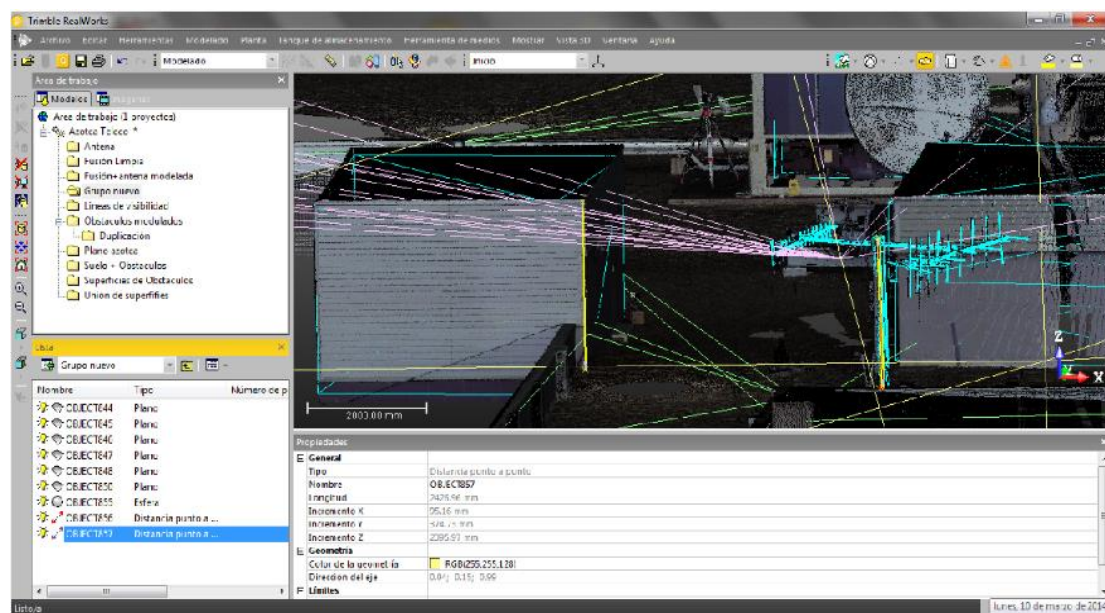


Fig. 3.63. Altura de la antena.

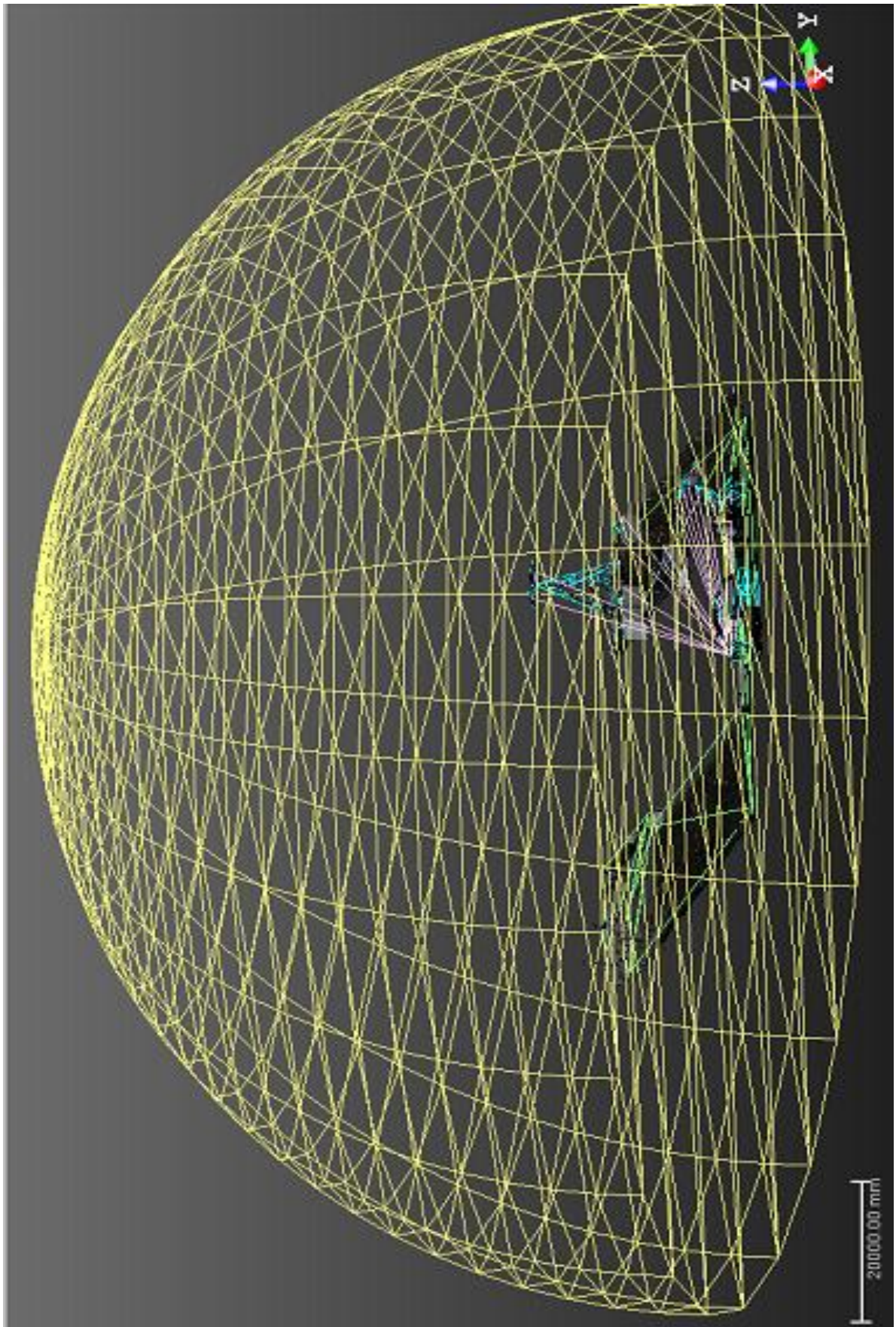
Propiedades		Propiedades	
General		General	
Tipo	Distancia punto a punto	Tipo	Distancia punto a punto
Nombre	OBJECT856	Nombre	OBJECT857
Longitud	2726.27 mm	Longitud	2426.96 mm
Incremento X	76.65 mm	Incremento X	95.16 mm
Incremento Y	451.13 mm	Incremento Y	374.73 mm
Incremento Z	2687.59 mm	Incremento Z	2395.97 mm
Geometría		Geometría	
Color de la geometría	RGB(255,255,128)	Color de la geometría	RGB(255,255,128)
Dirección del eje	0.03; -0.17; -0.99	Dirección del eje	0.04; -0.15; -0.99
Límites		Límites	

Fig. 3.64. Comparación de la altura del obstáculo y de la antena.

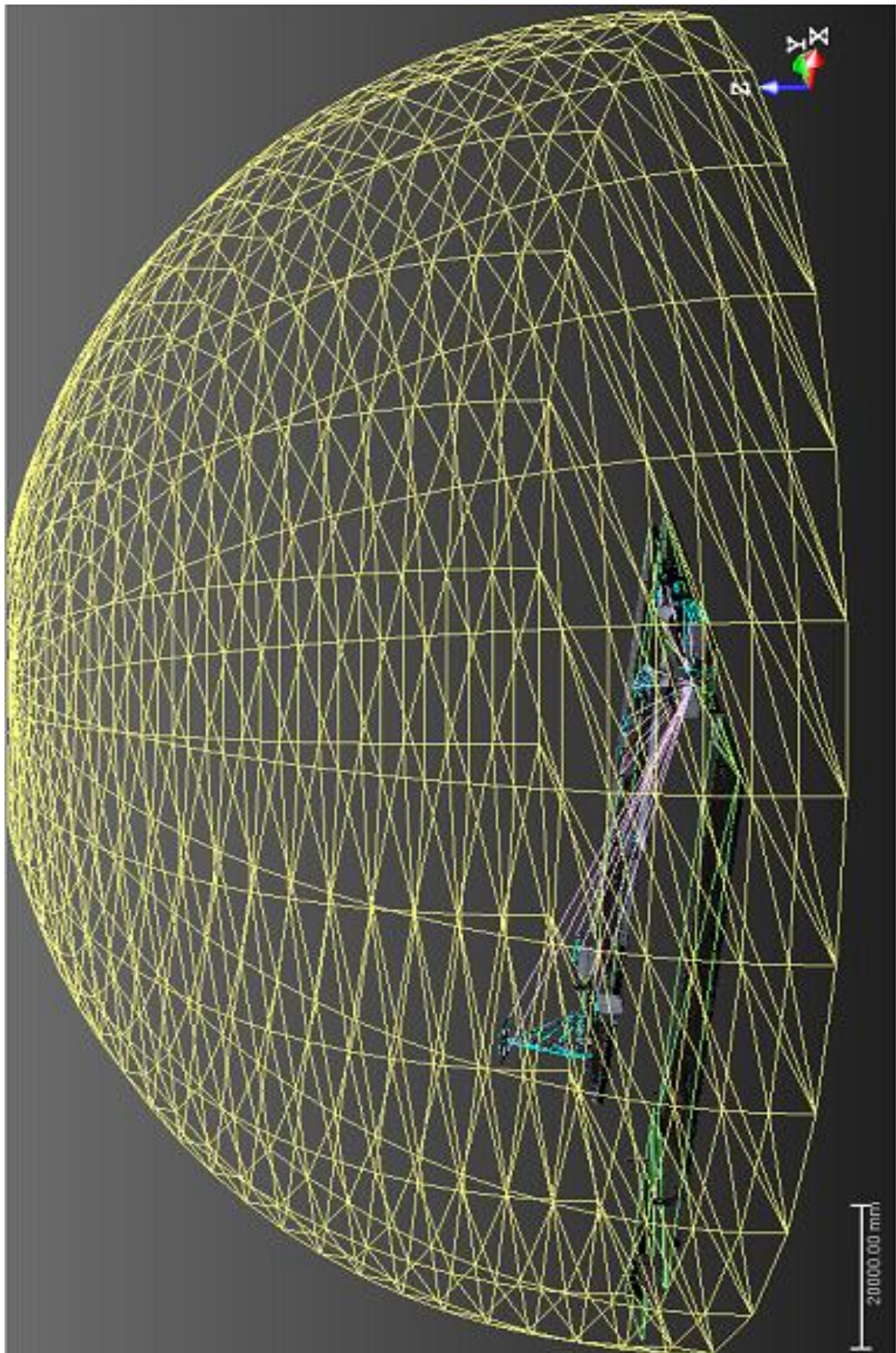
Si la altura de la antena fuera mayor a 2.726 m, la mayoría de las señales emitidas por el satélite serían recibidas por la antena.

A continuación pondremos alguna imagen de la bóveda desde diferentes posiciones, para que se pueda observar en que zonas no se propagarían las señales emitidas por el satélite.

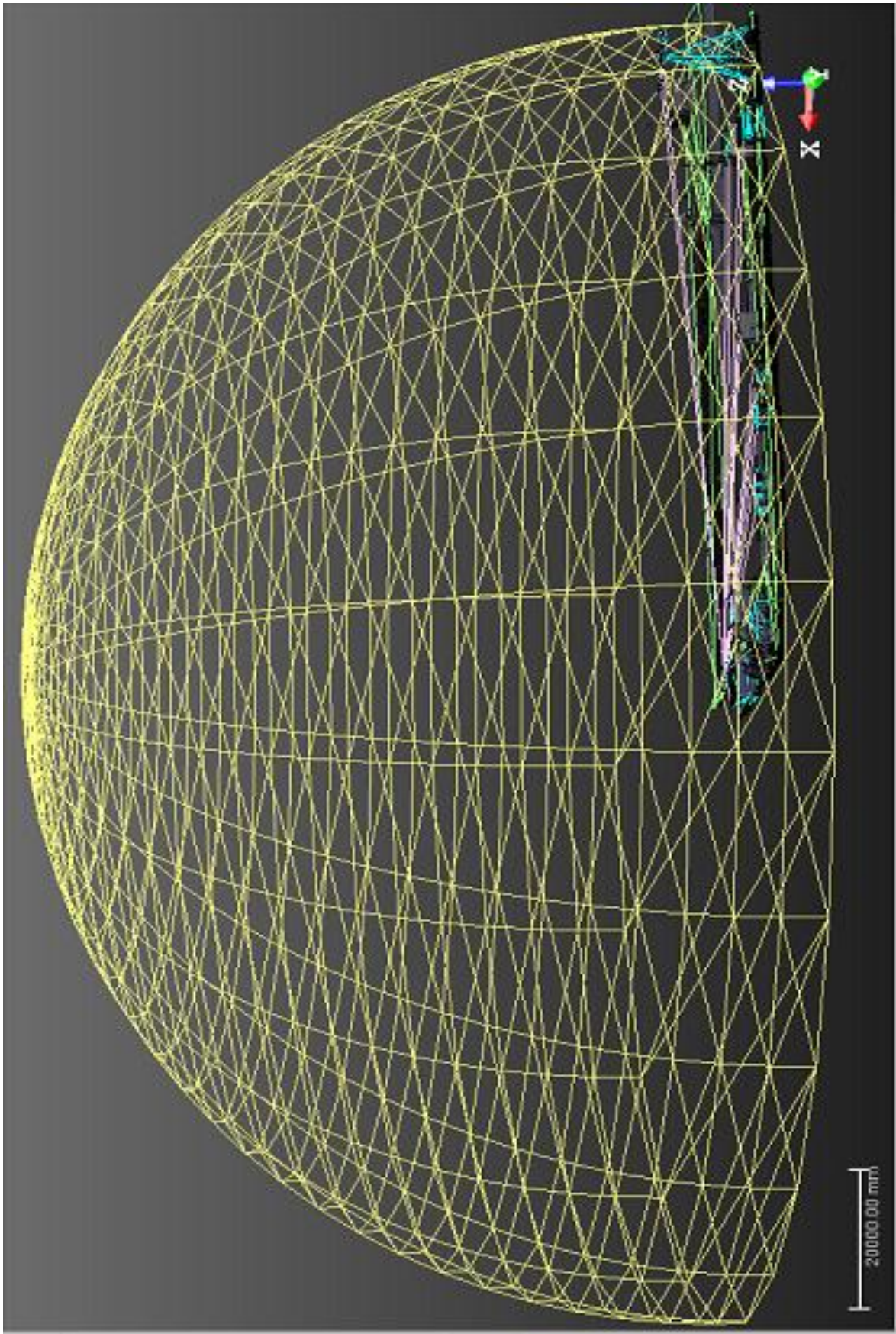












---

### 3.5.6. ESTUDIO DE PRECISIONES

Una vez obtenido el modelo tridimensional de la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, se tiene que comprobar su calidad. Para ello, tendremos que estudiar cometidos en los distintos procesos realizados en este proyecto fin de carrera y su acumulación.

El primer error que tenemos que estudiar es el error cometido en el registro de los puntos durante el proceso de la toma de datos, con el equipo escáner láser utilizado. El error cometido en la toma de datos viene especificado por las características técnicas del equipo escáner láser. Para poder obtener este error tendremos que realizar la componente cuadrática de los siguientes parámetros:

- Error sistemático: Para distancias de 25 m es de 2 mm. En este proyecto fin de carrera la distancia máxima que se ha tomado con el equipo escáner láser ha sido de 32.23 m, por lo que el error es de 2.58 mm.
- Resolución angular: Es de 0.009°, que para la distancia máxima a la que se ha realizado el escaneo(32.23m) se traduce en un error de:

$$360^\circ = 2R\pi$$

$$\text{Error} = (2R\pi * 0.009^\circ) / 360^\circ = (2 * 32.23 * 3.1416 * 0.009) / 360 = 0.00506 \text{ m} = 5.06 \text{ mm}$$

Por lo tanto el error cometido en la toma de datos con el equipo láser escáner es:

$$\sqrt{(2.58^2 + 5.06^2)} = 5.68 \text{ mm}$$

A la hora de realizar la fusión de la nube de puntos tomada con el equipo láser escáner con el programa Trimble RealWorks 8.0 obtenemos dos errores, un error residual y un error de ajuste. Por lo que para obtener el error cometido en el registro de la nube de puntos tendremos que ver el valor más desfavorable de ambos errores.

- Error residual más desfavorable: 3.70 mm
- Error de ajuste más desfavorable: 1.71 mm

$$\sqrt{(3.70^2 + 1.71^2)} = 4.08 \text{ mm}$$

Con el error cometido en la toma de datos y el cometido en el registro de escaneados se calcula la componente cuadrática, dando como resultado la precisión interna en la obtención del modelo para la distancia máxima a la que se ha trabajado, que resulta un valor de 7 mm.

$$\sqrt{(5.68^2 + 4.08^2)} = 6.99$$

---

## 4. CONCLUSIONES

---

El objetivo del presente PFC era aportar el estudio del emplazamiento de la antena situada en la azotea de la ETSIT de la universidad Politécnica de Madrid, modelizando la superficie de la azotea en la que se encuentra mediante técnica láser escáner 3D. dicho objetivo se ha conseguido con una precisión de 7 mm.

En relación a los resultados y su análisis, en primer lugar tenemos que comentar que la antena que hemos estudiado es solo receptora. Es importante saber de qué tipo es la antena, ya que si en lugar de haber sido únicamente receptora hubiera sido también emisora las interferencias hubieran sido mucho mayores.

En este proyecto fin de carrera se ha estudiado la azotea para ver si la ubicación de la antena era la más idónea o no, pero en estudios futuros sería interesante estudiar la zona que se encuentre próxima a la azotea.

En cuanto a la ubicación de la antena, podemos decir que no es la más idónea, ya que muy próxima a ella se encuentran obstáculos de gran tamaño, de manera que las zonas de sombras son mayores. Para solucionar este problema, y reducir las zonas de sombras, en lugar de modificar la ubicación de la antena hemos calculado cual sería la altura óptima de la antena.

Otro punto importante a comentar dentro del proyecto fin de carrera es el tipo de equipo que se ha utilizado. El equipo utilizado para la toma de datos ha sido un escáner láser con un sistema de medida basado en la diferencia de fase, pero para este tipo de trabajos es recomendado utilizar un escáner láser basado en el tiempo de vuelo, el cual es más efectivo. El motivo por el cual hubiera sido más recomendado utilizar un escáner láser basado en tiempo de vuelo, es debido a que los de diferencia de fase son más sensibles al ruido en la señal en zonas abiertas, por diferencias de temperatura.

---

## 5. PRESUPUESTO



---

## 5.1. INTRODUCCIÓN.

Realizaremos el cálculo del presupuesto de nuestro PFC, como si se tratara de un trabajo realizado dentro de una empresa privada.

Las fases a considerar en la realización de un trabajo similar al desarrollado en este proyecto son:

- Planificación previa.
- Trabajo de campo.
- Manipulación de los datos.
- Redacción de la memoria.

## 5.2 DESGLOSE DE LAS FASES.

### 5.2.1. Planificación previa.

Determinar los objetos..... 0.5 días.

Obtención de información del objeto..... 0.5 días.

Determinar las posiciones óptimas del escáner láser..... 0.5 días.

Determinar las posiciones óptimas de los puntos de referencia..... 0.5 días.

### 5.2.2. Trabajo de campo.

Realizar el escaneado del objeto..... 1 día.

### 5.2.3. Tratamiento de los datos.

Obtención del modelo tridimensional del objeto..... 15 días.

Estudio de visibilidad de la antena..... 6 días.

Estudio de precisiones..... 1 día.

### 5.2.4. Redacción de memoria.

Redacción de memoria: ..... 14 días.

Impresión y encuadernación de la memoria y de los Anexos: ..... 1 día.

---

### 5.3. CLASIFICACIÓN DE LOS COSTES.

Para calcular el coste de un presupuesto tendremos que tener en cuenta todos los costes que intervienen en la realización del mismo.

El coste es el valor monetario de cada uno de los factores de producción necesarios para la fabricación y salida de un producto. Se pueden clasificar según sea:

- Coste económico: Considerando el volumen de producción, existen dos tipos: Los costes fijos, que son aquellos que no varían cuando lo hace el volumen de producción y los costes variables, que son aquellos que si cambian cuando lo hace la producción.
- Costes contables: Según se puedan imputar a un producto o a otro: Pueden ser costes directos, que son los que intervienen directamente en el proceso de producción (como las materias primas) o costes indirectos, que son los necesarios para el mantenimiento de una empresa (como el alquiler de un almacén).

### 5.4. ASIGNACIÓN DE RECURSOS A TAREAS.

PLANIFICACIÓN PREVIA.		
TAREAS	RECURSOS	
	HUMANOS	MATERIALES
Determinar los objetos.	Ingeniero Técnico en Topografía.	
Obtención de información del objeto.	Ingeniero Técnico en Topografía.	
Determinar las posiciones óptimas del escáner láser.	Ingeniero Técnico en Topografía.	
Determinar las posiciones óptimas de los puntos de referencia.	Ingeniero Técnico en Topografía.	

TRABAJO DE CAMPO.		
TAREAS	RECURSOS	
	HUMANOS	MATERIALES
<b>Escaneado del objeto.</b>	Ingeniero Técnico en Topografía.  Auxiliar de campo.	Dianas.  Escáner láser.  Trípode.

TRATAMIENTO DE LOS DATOS.		
TAREAS	RECURSOS	
	HUMANOS	MATERIALES
<b>Obtención del modelo tridimensional del objeto.</b>	Ingeniero Técnico en Topografía.	Ordenador.  Software Trimble RealWorks.  Oficina.
<b>Estudio de visibilidad.</b>	Ingeniero Técnico en Topografía.	Ordenador.  Software Trimble RealWorks.  Oficina.
<b>Estudio de precisiones.</b>	Ingeniero Técnico en Topografía.	Ordenador.  Software Trimble RealWorks.  Oficina.

REDACCIÓN DE LA MEMORIA.		
TAREAS	RECURSOS	
	HUMANOS	MATERIALES
Redacción de la memoria.	Ingeniero Técnico en Topografía.	Oficina. Ordenador. Software Office.
Impresión y encuadernación.	Ingeniero Técnico en Topografía.	Oficina. Ordenador. Software Office. Impresora. Tinta. Material para imprimir. Encuadernación.

### 5.5. ASIGNACIÓN DE COSTES.

A continuación realizaremos un listado con todos los costes de los distintos recursos empleados, tanto costes directos como indirectos. Los costes de los recursos utilizados son precios aproximados de mercado consultando diversas fuentes.

COSTES.			
DIRECTOS (€ / día )		INDIRECTOS ( € / mes )	
Ingeniero Técnico en Topografía	140	Gastos de oficina + agua + luz	300
Escáner Láser	1000	Vehículo	49.48
Trípode	32		
Dianas	13		
Auxiliar de campo	70		
Software Trimble RealWorks	45		
Material para Imprimir	150		

#### 5.6. COSTES POR ACTIVIDAD.

PLANIFICACIÓN PREVIA			
<b>Actividad:</b> Determinar los objetos.			
<b>Días de trabajo:</b> 0.5 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	70
<b>Total coste básico: 70 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 70 €</b>			



PLANIFICACIÓN PREVIA			
<b>Actividad:</b> Obtención de información del objeto.			
<b>Días de trabajo:</b> 0.5 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	70
<b>Total coste básico: 70 €</b>			
<b>Costes generales indirectos:</b>			
<b>Instrumental</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Vehículo	1	49.48	24.74
<b>Total costes de producción: 24.74 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 94.74 €</b>			

PLANIFICACIÓN PREVIA			
<b>Actividad:</b> Determinar las posiciones óptimas del escáner láser.			
<b>Días de trabajo:</b> 0.5 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	70
<b>Total coste básico: 70 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 70 €</b>			

PLANIFICACIÓN PREVIA			
<b>Actividad:</b> Determinar las posiciones óptimas de los puntos de referencia.			
<b>Días de trabajo:</b> 0.5 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	70
Total coste básico: 70 €			
COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 70 €			

TRABAJO DE CAMPO			
<b>Actividad:</b> Realizar el escaneo del objeto.			
<b>Días de trabajo:</b> 1 día.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	140
Auxiliar de campo	1	70	70
<b>Total coste básico: 210 €</b>			
<b>Costes generales de producción:</b>			
<b>Instrumental</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Dianas	15	13	195
Escáner láser	1	1000	1000
Trípode	2	32	64
<b>Total costes de producción: 1259€</b>			
<b>Costes generales indirectos:</b>			
<b>Instrumental</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Vehículo	2	49.48	49.48
<b>Total costes de producción: 98.96€</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 1567.96 €</b>			

TRATAMIENTO DE LOS DATOS			
<b>Actividad:</b> Obtener el modelo tridimensional del objeto.			
<b>Días de trabajo:</b> 15 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	2100
<b>Total coste básico: 2100 €</b>			
<b>Costes generales de producción:</b>			
<b>Instrumental</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Software Trimble	1	45	675
RealWorks			
<b>Total costes de producción: 675 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 2775 €</b>			

MANIPULACIÓN DE LOS DATOS			
<b>Actividad:</b> Estudio de visibilidad.			
<b>Días de trabajo:</b> 6 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	840
<b>Total coste básico: 840 €</b>			
<b>Costes generales de producción:</b>			
<b>Instrumental</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Software Trimble RealWorks	1	45	270
<b>Total costes de producción: 270 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 1110 €</b>			



MANIPULACIÓN DE LOS DATOS			
<b>Actividad:</b> Estudio de precisiones.			
<b>Días de trabajo:</b> 1 día.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	140
<b>Total coste básico: 140 €</b>			
<b>Costes generales de producción:</b>			
<b>Instrumental</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Software Trimble RealWorks	1	45	45
<b>Total costes de producción: 45 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 185 €</b>			

REDACCIÓN DE LA MEMORIA			
<b>Actividad:</b> Redacción de la memoria.			
<b>Días de trabajo:</b> 14 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	140
<b>Total coste básico: 1960 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 1960€</b>			

REDACCIÓN DE LA MEMORIA			
<b>Actividad:</b> Impresión y encuadernación de la memoria.			
<b>Días de trabajo:</b> 1 días.			
<b>Coste básico:</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Ingeniero Técnico en Topografía	1	140	140
<b>Total coste básico: 140 €</b>			
<b>Costes generales de producción:</b>			
<b>Instrumental</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste Unidad</b>	<b>Coste Total</b>
Material para imprimir	1	150	150
<b>Total costes de producción: 150 €</b>			
<b>COSTE FINAL DE LA ACTIVIDAD: 290 €</b>			

## 5.7. PRESUPUESTO FINAL.

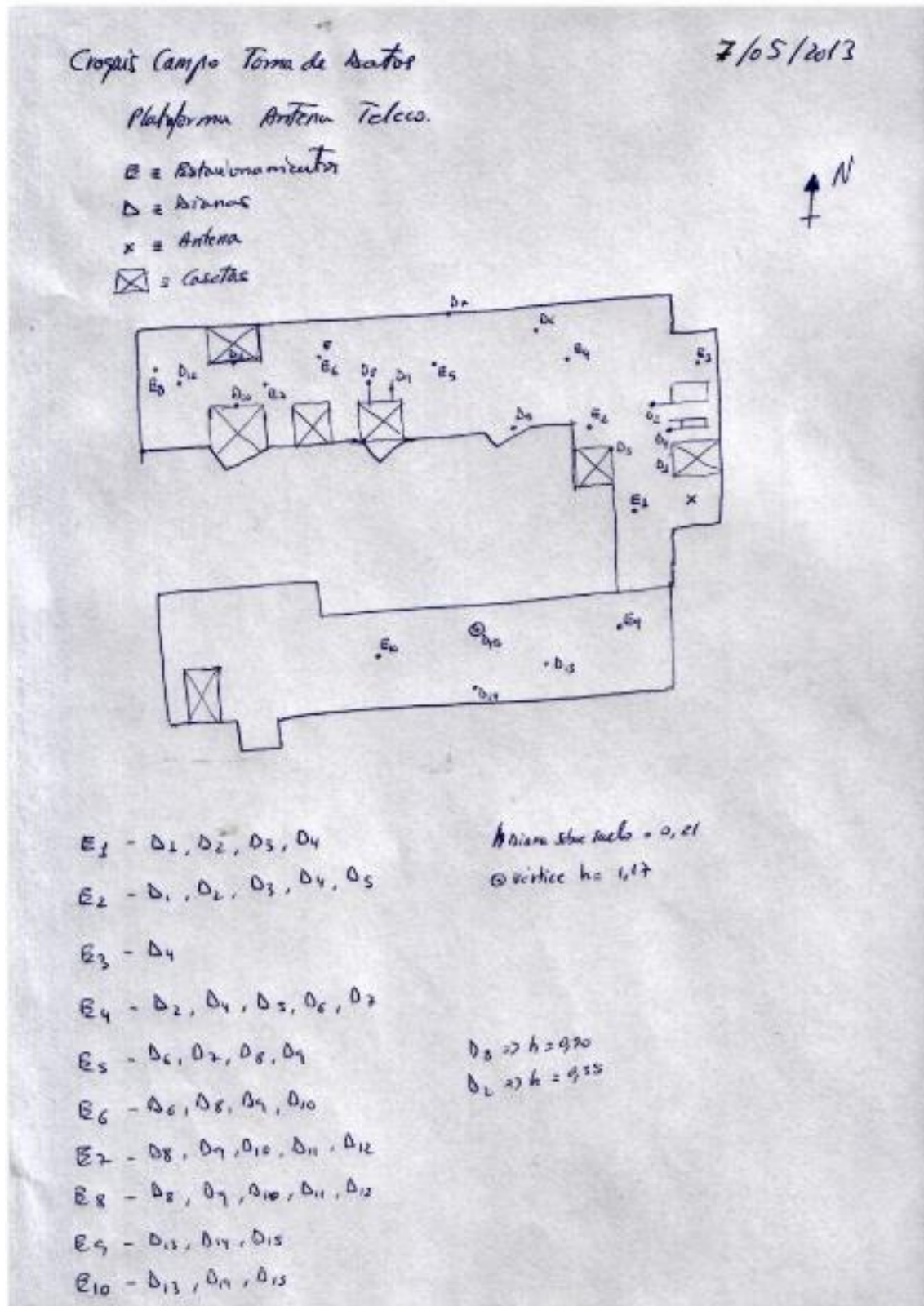
Finalmente, tras realizar la suma de todas las actividades y la repercusión proporcional del alquiler de la oficina, se aplicó el beneficio industrial (16%) y se le aplicó el IVA (21%), obteniendo así el siguiente presupuesto.

PRESUPUESTO	
<b>Actividad:</b>	
Determinar los objetos .....	70 €
Obtención de información del objeto .....	94.74 €
Determinar las posiciones óptimas del escáner láser .....	70 €
Determinar las posiciones óptimas de los puntos de referencia .....	70 €
Realizar el escaneado del objeto .....	1567.96 €
Obtención del modelo tridimensional del objeto .....	2775 €
Estudio de visibilidad de la antena .....	1110 €
Estudio de precisiones.....	185 €
Redacción de memoria.....	1960 €
Impresión y encuadernación de la memoria y de los Anexos.....	290 €
<b>TOTAL ACTIVIDADES: 8192.70 €</b>	
Gastos de oficina + agua + luz .....	300 €
<b>TOTAL PROYECTO: 8492.70 €</b>	
Beneficio industrial (16%).....	1358.83 €
<b>TOTAL ANTES DE IMPUESTOS: 9851.53 €</b>	
Repercusión IVA (21%).....	2068.82
<b>TOTAL: 11920.35 €</b>	

---

## 6. ANEXOS

## 6.1. CROQUIS DE CAMPO.





## 6.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO ESCÁNER LÁSER.



**FARO Photon 80/20**

**www.faro.com**

**FARO**

**Cámara (opcional)**  
Para escaneos de calidad fotografica a color.

**Alta Resolución**  
Hasta 700 millones de pixeles por escaneo.

**Veloz**  
Velocidad de escaneo, mediciones de 120,000 puntos tridimensionales por segundo.

**Preciso**  
 $\leq \pm 2$  mm error sistematico por distancia2) a 25m.

**Campo de Visión Total**  
360° horizontal y 320° vertical — la mayor cobertura de campo de visión del mercado.

**Independiente**  
Copilacion de datos en un disco duro interno por lo que no requiere el uso de una laptop adicional. Versión inalámbrica opcional.

**Escaneo Dinámico**  
Escanee en carreteras, rieles y túneles sin problema alguno.

**Fuente de Energía Remota (Power Base) Opcional**  
Batería compacta para 6 horas, colocada directamente en el

### Tu Mundo 3-Definido.

FARO es ya sinónimo de metrología, y continuando con su compromiso por brindar avances tecnológicos sin precedentes, presenta un nuevo equipo tridimensional cuyo desempeño es, en pocas palabras, supremo. El novedoso, Photon Laser Scanner no sólo es compacto, preciso y veloz sino que además trae consigo avances tecnológicos considerables, entre los que podemos mencionar: disminución del ruido en la imagen en un 300% (imágenes más claras y fieles), disminución del error de paralelaje en un 200%, mayor sensibilidad de escaneo, tomas más claras con una mejor localización de objetos distantes, áreas poco iluminadas e irregulares, alta calidad en la yuxtaposición de color, las tomas y color registradas por el láser son más fieles a la realidad escaneada. El resultado, un escaneo de datos detallado, extremadamente minucioso, para asegurar una recreación fiel de cualquier escenario u objeto.

### Diseñado para un Desempeño Supremo

La alta resolución, precisión y escaneo en 3-D son elementos ideales para la realización de diversas aplicaciones de metrología tales como: ingeniería inversa, inspección, moldeado, documentación de instalaciones entre otras. Diseñado para la captura masiva y rápida de datos, el trípode del Photon, hecho a base de fibra de carbono es la base ideal para escanear sobre cualquier superficie, además de lo anterior, el Photon cuenta con un disco duro interno, la opción de una batería ligera y de fácil ensamblado (se monta directamente sobre el escáner) además de brindar la opción de operar vía iPod® touch en la mayoría de aparatos inalámbricos. Desarrollado para mediciones, sencillas, remotas y precisas.

### Características

- ▶ Extrema productividad.
- ▶ Velocidad de escaneo de 120,000 puntos por Segundo
- ▶ Alta precisión.
- ▶ 100 veces más rápido que los escáneres time-of-light.
- ▶ Alta resolución en la yuxtaposición de color de manera automática, en la opción de color.
- ▶ Modularidad

LA MEDIDA DEL ÉXITO

## FARO Photon 80/20

### Aplicaciones



Auditorio



Planta Petroquímica



3-D Plano de Casa



Parte Frontal de una Turbina de Avion

### Especificaciones

#### Unidad de Rango

Alcance: 0.6 m - 76 m<sup>1)</sup> (Photon 80), 0.6 m - 20 m (Photon 20)  
 Resolución: 0.6 mm - 17 Alcance por punto.  
 Velocidad de Medición: 120 000 puntos/seg.  
 Error Sistemático de Distancia<sup>2)</sup>: ±2 mm at 25 m

Repetitividad (Photon 80 / 20)<sup>3)</sup> (Información neta<sup>3)</sup> / Información bruta):  
 @10 m: 0.45/0.9 mm rms @ 90 % refl. | 0.75/1.5 mm rms @ 10% refl.  
 @25 m: 0.60/1.2 mm rms @ 90 % refl. | 1.45/2.9 mm rms @ 10% refl.

#### Unidad de Desviación

Campo de Visión Vertical: 320°  
 Campo de Visión Horizontal: 360°  
 Resolución Vertical: 0.009° (40.000 3D-Pixel on 360°)  
 Resolución Horizontal: 0.00076° (470.000 3D-Píxeles on 360°)  
 Resolución Angular (hor./vert.): ±0.009°  
 Velocidad Máxima de Escaneo Vertical: 2880 rpm  
 Tiempo de Escaneo: at 3 mio. puntos ca. 30 sec.

#### Laser (Transmisor Óptico)

Capacidad del Láser (CW promedio):  
 Photon 80/20 - 20 mW (Laser Class 3R)  
 Longitud de Onda: 785 nm  
 Desviación del Láser: 0.16 mrad (0.009°)

#### Manejo de Datos

PC Interna: Pentium III with 700 MHz, 256 MB RAM  
 80GB HD; Windows® 2000

#### Almacenamiento de Datos:

Local: en el disco duro interno (para la mayoría de las resoluciones)  
 Remota: vía Ethernet, WLAN por PC o Laptop  
 Scanner Control: vía Ethernet, WLAN por PC o PDA en una línea local o Internet

1) Depende de la luz ambiental presente en la medición. El rango total se alcanza en superficies blancas y 90% mate, iluminadas con luz ambiental moderada. La presencia de luz solar excesiva puede cortar el rango de escaneo en distancias menores.  
 2) Medido en base a una referencia reflectiva promedio de papel, estático, 90% ortogonal.  
 3) Filtro Compresor de Ruido.

Para más información y detalles sobre el equipo escriba a [info@faro-europe.com](mailto:info@faro-europe.com)  
 Acreditado ISO/IEC 17025  
 Sujeto a cambios sin previo aviso



### Características Generales

Fuente de Energía: 24 V DC (Batería o convertidor AC)  
 Consumo de energía: ~60 W  
 Temperatura Ambiental: 5° - 40° C  
 Humedad: no condensante  
 Sensor de Inclinación: opcional (precisión 0,1°; resolución 0,001°; rango ± 15°)  
 Peso: 14,5 kg (35lb)

Tamaño (LxWxH): 410 mm x 160 mm x 280 mm (15.7" x 6.3" x 11")  
 Mantenimiento de la Calibración: una vez por año  
 Módulos de Intercambio: Sensor de Distancia / espejo central / PC  
 Georeferencing: si  
 Cable Conector: Localizado al pie del escaner fijo  
 Panel de Control: Si, operación sin PC externa/ Labtop



Estados Unidos de América · Alemania · Suiza · Francia · Gran Bretaña · España · Italia · Países Bajos · Polonia · Singapur · China · Japón · India · México · Brasil

[www.faro.com](http://www.faro.com)

800.736.0234

04REF201-069 - Photon.pdf Created: 5/6/08



### 6.3. TARIFAS DE ALQUILER.

## TARIFAS ALQUILER 2013

DESCRIPCIÓN	PRIMER DÍA	SUCESIVOS	SEMANA	MES*														
<b>ESTACIONES TOTALES</b>																		
Estación Total Trimble gama económica, 2", 3", 5"	35 €	20 €	130 €	300 €														
Estación Total Trimble con teclado Windows - Servoasistida, 2", 3"	55 €	35 €	195 €	650 €														
Estación Total Trimble con teclado Windows - Seguimiento de prisma, 2", 3"	60 €	40 €	220 €	755 €														
Estación Total Trimble con teclado Windows - Robotizada, 2", 3"	65 €	45 €	255 €	860 €														
Estación Total S6 DR Trimble Robotizada, 2", 3"	80 €	60 €	380 €	1100 €														
Estación Total S8 1" DR Trimble Robotizada	95 €	75 €	450 €	1300 €														
<b>SISTEMAS GPS</b>																		
GPS-GIS / Mapping (Submétrico)	50 €	30 €	125 €	295 €														
GPS L1/L2 RTK Base + Rover	185 €	125 €	600 €	1300 €														
GPS Rover L1/L2 RTK/GPRS + tarjeta SIM	110 €	75 €	350 €	750 €														
Radio PDL/TDL	18 €	6 €	40 €	120 €														
Módem GPRS Repeater + tarjeta SIM	25 €	10 €	60 €	195 €														
Módem GPRS Repeater con Rádio	30 €	12 €	75 €	250 €														
<b>NIVELES</b>																		
Nivel óptico topografía	18 €	3 €	30 €	90 €														
Nivel digital Trimble DINI (alta precisión)	42 €	30 €	125 €	295 €														
Nivel láser construcción horizontal	18 €	3 €	30 €	90 €														
Nivel láser doble pendiente	30 €	15 €	80 €	270 €														
Nivel láser para tuberías o pendiente simple	25 €	10 €	60 €	195 €														
Receptor LR30 para maquinaria	18 €	6 €	40 €	120 €														
<b>CONTROLADORAS TRIMBLE</b>																		
TSC2/TSC3	30 €	15 €	80 €	270 €														
TCU	25 €	10 €	60 €	195 €														
Plomada láser/óptica	30 €	15 €	80 €	270 €														
<b>SOFTWARE OFICINA</b>																		
Trimble Real Works	45 €	18 €	110 €	400 €														
Hidrografía Hypack	30 €	15 €	80 €	270 €														
Trimble Business Center	25 €	10 €	55 €	195 €														
<b>SISTEMAS ESPECIALES</b>																		
Láser Escáner / Trimble VX	CONSULTAR																	
Auscultación monitorización y control de formaciones	CONSULTAR																	
Obra marítima (Gánguil, batimetría, posicionamiento de cajones y bloques)	CONSULTAR																	
RM3D Auscultación y montaje de vías	CONSULTAR																	
<b>MÓDULOS ESPECIALES TRIMBLE ACCESS PARA CAMPO. Consultar precio</b>																		
 Mines	 Carreteras	 Túneles	 Monitoring	 Levelme														
<p>* Para periodos de alquiler más largos, consultar precio.</p> <p><b>Portes.</b> Portes pagados al superar un mes de alquiler. Para alquileres inferiores consultar. Todos los equipos están revisados e incluyen el certificado de calibración. <b>Seguro.</b> Todos los instrumentos disponen de un seguro que incluye únicamente el instrumento, los accesorios están exentos de seguro, por tanto la pérdida o mal uso de los mismos corren por cuenta del cliente. El importe del seguro asciende a un 5% del valor del alquiler contratado. <b>Duración.</b> El periodo de alquiler comienza en el momento de entrega del material y finaliza cuando se devuelve. Los sábados y domingos se consideran días laborables. <b>Estudiantes.</b> Descuentos importantes para estudiantes. Los precios indicados no incluyen IVA, Aseguramiento técnico y formación incluido.</p>																		
<p style="text-align: right;"><b>CUOTA FIN DE SEMANA</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Estación Total Trimble gama económica</td> <td>50 €</td> </tr> <tr> <td>Estación Total Trimble Servoasistida</td> <td>65 €</td> </tr> <tr> <td>Estación Total Trimble Robotizada</td> <td>95 €</td> </tr> <tr> <td>Estación Total Trimble S6</td> <td>110 €</td> </tr> <tr> <td>Estación Total Trimble S6 Robotizada</td> <td>125 €</td> </tr> <tr> <td>GPS RTK L1/L2 Base + Rover</td> <td>225 €</td> </tr> <tr> <td>GPS ROVER L1/L2 RTK/GPRS + TARJETA SIM</td> <td>150 €</td> </tr> </tbody> </table>					Estación Total Trimble gama económica	50 €	Estación Total Trimble Servoasistida	65 €	Estación Total Trimble Robotizada	95 €	Estación Total Trimble S6	110 €	Estación Total Trimble S6 Robotizada	125 €	GPS RTK L1/L2 Base + Rover	225 €	GPS ROVER L1/L2 RTK/GPRS + TARJETA SIM	150 €
Estación Total Trimble gama económica	50 €																	
Estación Total Trimble Servoasistida	65 €																	
Estación Total Trimble Robotizada	95 €																	
Estación Total Trimble S6	110 €																	
Estación Total Trimble S6 Robotizada	125 €																	
GPS RTK L1/L2 Base + Rover	225 €																	
GPS ROVER L1/L2 RTK/GPRS + TARJETA SIM	150 €																	



**Geotronics, S.L.** Calle Dublin, 1, planta 1ª, Polígono Európolis, 28230 Las Rozas (Madrid)

Tel. + 34 902 30 40 75 - Fax. + 34 916 370 074 - [www.geotronics.es](http://www.geotronics.es) - [geotronics@geotronics.es](mailto:geotronics@geotronics.es)



## 6.4. SOFTWARE TRIMBLE REALWORKS 8.0



### SOFTWARE TRIMBLE REALWORKS SURVEY NOTAS TÉCNICAS

Trimble RealWorks Survey es un potente software de oficina de Trimble que importa numerosos datos del sensor de Spatial Imaging (imágenes espaciales) y los transforma en resultados 3D atractivos. Las potentes herramientas de RealWorks Survey administran, procesan y analizan archivos de datos de gran tamaño que contienen millones de puntos, lo que le permite producir resultados de muy alta calidad que impresionarán y satisfecerán a sus clientes.

El software Trimble® RealWorks Survey® le permite registrar, visualizar, explorar y manejar datos de nubes de puntos capturados con un sensor de Trimble Spatial Imaging. El mismo incorpora herramientas precisas, características de modelado y potentes, ideales para aplicaciones como la topografía civil, la construcción, el catastro de patrimonio histórico y aplicaciones forenses, además de muchas otras más de la industria geoespacial.

Al ser avanzado, pero muy sencillo de usar, el software RealWorks Survey le permite:

- Administrar, procesar y analizar conjuntos de datos de gran tamaño
- Producir fácilmente los resultados que necesita
- Exportar con facilidad al paquete de diseño CAD de su elección
- Comunicar los resultados mediante la generación de vídeo y la exportación a Google Earth ( formato kml)

Mientras que RealWorks Survey es lo suficientemente potente para manejar conjuntos de datos de gran tamaño, a la vez resulta muy sencillo de utilizar: el software lo guía, paso a paso, por las complejas tareas de administración y manipulación de datos para asegurarle que siempre logrará sus objetivos y los de sus clientes.

El resultado final en el software RealWorks Survey consiste en la generación de resultados 2D y 3D atractivos para la salida directa o exportación de los mismos a paquetes CAD tales como AutoCAD y MicroStation.

El software de oficina RealWorks Survey es la solución central para convertir datos de sensores de Spatial Imaging a los resultados que sus clientes necesitan. Comparta su trabajo mediante vídeos para que las revisiones del proyecto sean productivas. Incluso puede vender o proporcionar servicios adicionales generando modelos georeferenciados en 3D de Google Earth.

*Las barras de herramientas hacen que las acciones comunes estén disponibles con tan solo hacer clic.*

*Interfaz Windows estándar familiar para el usuario.*

*Las ventanas Área de trabajo y Lista le permiten navegar, de forma rápida y fácil, por la base de datos jerárquica. Las sencillas herramientas que lo guían paso a paso, tal como el sistema Easy Guided Step™ facilitan y agilizan la generación de materiales.*

*La ventana vista 3D ofrece múltiples modos de visualización para obtener escenas 3D mejoradas.*

*Barra de estado.*



### ADMINISTRE, PROCESÉ Y ANALICE CONJUNTOS DE DATOS DE GRAN TAMAÑO

#### Herramientas de inspección avanzadas

Compare los levantamientos de ejecución con el diseño, antes y después de los eventos, y mucho más

Las herramientas de inspección avanzadas de RealWorks Survey son ideales para aplicaciones de control tales como la ingeniería civil (carreteras y puentes) y minería. Los materiales resultantes proporcionan información más abundante, más detallada y de mayor utilidad para sus clientes.

Utilice las herramientas avanzadas de RealWorks Survey para:

- Inspeccionar datos de certificación, comparándolos con el diseño concreto.
- Generar y visualizar inspecciones, detectando variaciones.
- Obtener visualizaciones gráficas 2D y 3D de espacios y deformaciones para analizarlas con facilidad.
- Importar perfiles y primitivos geométricos de un archivo de diseño CAD en .dxf o .dwg, y exportar archivos gráficos en .dxf y .dgn.
- Compartir información imprimiendo los resultados directamente utilizando la interfaz de impresión integrada de RealWorks Survey.



*Mapa de inspección de túneles*





## ADMINISTRE, PROCESA Y ANALICE CONJUNTOS DE DATOS DE GRAN TAMAÑO (CONTINUACIÓN)

### Perfiles / Secciones transversales

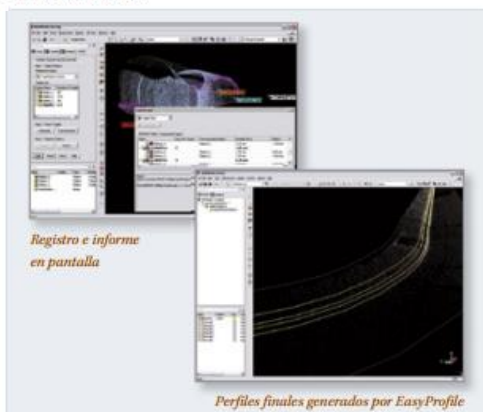
Perfiles definidos por el usuario para la inspección y control, y generación de perfiles única con EasyProfile™

En RealWorks Survey, se pueden aplicar varias limitaciones en función de las nubes de punto o modelos cuando se generan perfiles y secciones transversales. Por ejemplo, los datos de análisis de un túnel pueden seguir la línea central del mismo. Al trabajar con líneas y secciones transversales, las herramientas tales como EasyLine™ y EasyProfile le ofrecen la mejor alternativa para la creación totalmente automática de dibujos 2D a partir de datos 3D.

La herramienta EasyLine genera polilíneas continuas a partir de nubes de puntos o imágenes. Los dibujos 2D basados en imágenes constituyen un método muy efectivo en el que el usuario dibuja directamente sobre las imágenes en el modo de navegación basado en la estación. Al utilizar al máximo la información sobre imágenes fotorealísticas, la ejecución de dibujos 2D resulta más fácil y rápida.

EasyProfile automáticamente extrae vías férreas, veredas, perfiles de calles, barreras medianeras y prácticamente cualquier otro objeto lineal de una nube de puntos. Esta herramienta única funciona de la siguiente manera: los perfiles importados de CAD o generados internamente se pueden posicionar relativos a la nube de puntos utilizando la herramienta Profile Matcher.

Cuando EasyProfile está activada, esta herramienta emplea el perfil coincidente para hacer un rastreo de la nube en ambas direcciones y en ángulo. Luego las líneas de característica se extraen automáticamente, de acuerdo con las líneas de ruptura en el perfil guía.

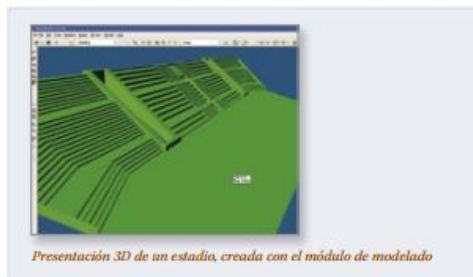


### Herramientas de modelado

Cree geometrías y formas 3D para la presentación, cálculos y otros usos de elementos finitos

RealWorks Survey puede modelar diversas formas para representar el entorno de ejecución utilizando geometrías sencillas conformes a CAD. El modelado de datos agiliza la transferencia de paquetes de datos para su análisis. Los modelos 3D basados en la realidad son la forma más eficiente de realizar simulaciones.

El módulo de modelado de RealWorks Survey le permite crear modelos parciales o totales de forma muy rápida y es especialmente adecuado para aquellas aplicaciones donde las geometrías modeladas mejoran o completan el impacto y alcance de los resultados finales.



Presentación 3D de un estadio, creada con el módulo de modelado

### Ingeniería de planta

RealWorks Survey ahora incluye un módulo de plantas que incorpora las ventajas del flujo de trabajo innovador al mundo de la ingeniería.

Este módulo incluye:

- Herramientas de modelado
- La herramienta EasyPipe™ permite el modelado automático de tuberías mediante la extracción de puntos y la colocación de cilindros y codos que quedan perfectamente alineados y conectados.
- Herramientas interactivas para estructuras de acero que permiten el modelado intuitivo de diversos tipos de vigas (H, I, U, T, L). Además, pueden aplicarse limitaciones en función de catálogos predefinidos.
- Objetos modelados para exportar a PDMS para su integración a AVEVA y otras soluciones de software.

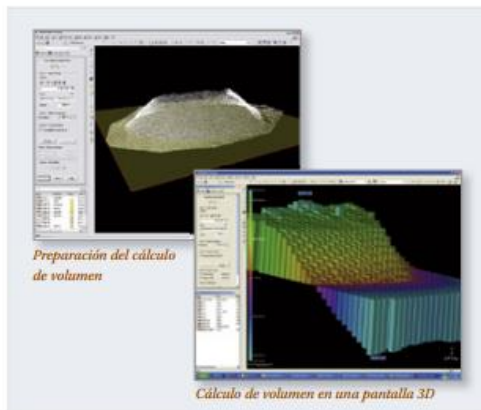


### Cálculos de volumen y superficie

Cálculos extremadamente rápidos para la continuidad de los trabajos de construcción y minería

RealWorks Survey genera cálculos de volumen en función de un método de cuadrícula de alta precisión, cualquiera que sea la densidad de la nube de puntos. Las características de volumen y el área de superficie se integran en los resultados de RealWorks Survey, que se muestran directamente en pantalla.

Los cálculos de volumen incluyen cifras de desmonte y terraplén y pueden realizarse entre una superficie escaneada y un plano definido por el usuario, o bien entre dos superficies escaneadas para evaluar el avance de un proyecto periódicamente. Los resultados calculados finales pueden exportarse como seccionamientos, es decir, como polilíneas de generación automática en intervalos especificados por el usuario. Luego automáticamente se genera un informe listo para imprimir.



#### Ortoproyección y rectificación de imágenes

Utilice la herramienta Ortoproyección para proyectar una nube de puntos o malla (texturada) en un plano como una ortoproyección.

Para lograr una mayor productividad cuando se trata de fachadas múltiples, utilice la herramienta Ortoproyección para crear simultáneamente ortoproyecciones a lo largo de una polilínea correspondiente a las paredes de un edificio por ejemplo.

La herramienta Rectificación de imágenes le permitirá crear fácilmente imágenes fotorealísticas rectificadas que han sido capturadas en la vista de la estación.

Exportar ortoproyecciones e imágenes a CAD



#### Registro — Alineación

En RealWorks Survey podrá registrar fácilmente los escaneos utilizando uno de varios métodos: basado en la nube, basado en el objetivo o por georeferenciamento.

Para el registro mediante la herramienta de georeferenciamento, podrá asignar coordenadas conocidas a varios puntos en todos los escaneos a registrar. Por ejemplo, los puntos pueden ser centros de objetivos, puntos conocidos o puntos topográficos de otros instrumentos.

Para el registro basado en la nube, seleccione los mismos puntos en dos escaneos diferentes con la opción de refinar automáticamente el registro en una segunda etapa.

En el registro basado en el objetivo (cuando corresponde), podrá aprovechar el

registro totalmente automático de estación a estación con informes de control de calidad. Este tipo de registro se aplica a poligonales/configuraciones de estación y a estacionamientos libres/trisecciones, así como también a estacionamientos no nivelados.

Si ha utilizado los sensores de Trimble Spatial Imaging con un método de poligonal para capturar datos, la alineación se realizará automáticamente.

Con fines de garantía de calidad, la herramienta Analizador de objetivos se puede emplear para comprobar si hay suficientes objetivos o puntos topográficos, para modificar o eliminar los que están instalados de forma incorrecta y para crear objetivos adicionales en la nube de puntos donde dicho objetivo se identifica visualmente como escaneado. Para el informe de resultados, utilice la herramienta Informe de registro basado en entidades para generar un informe de control calidad completo con formato.rtf.



#### Procesamiento de datos capturados con Trimble FX

RealWorks Survey ha sido optimizado para trabajar con datos capturados con el escáner Trimble FX.

- Maneje los conjuntos de datos de gran tamaño de forma eficiente
- Extraiga partes específicas de la nube de puntos (por estación, por zona)... utilice filtros para extraer los datos correspondientes ... se rechazan los puntos excedentes, los puntos que se conservan presentan una resolución espacial homogénea
- Extraiga objetivos sencillamente haciendo clic
- El procesamiento de datos en el modo por lotes significa que las computadoras pueden funcionar durante períodos prolongados sin interacción humana.
- Transferencia de datos fluida a LASERGen
- Capacidad de generar datos preconfigurados para el servidor LASERGen







## PRODUZCA FÁCILMENTE LOS RESULTADOS QUE NECESITA CON EL SISTEMA EASY GUIDED STEP

El sistema Easy Guided Step™ le proporcionará fácilmente los resultados que necesita de los conjuntos de datos capturados. Este flujo de trabajo exclusivo de Trimble se basa en un enfoque paso a paso para cada uno de los análisis a realizar.

Al iniciar una tarea en un conjunto de datos, primero se selecciona la información que desea extraer. A continuación, el EGS muestra los resultados y le pide ajustar los parámetros si es necesario. Luego podrá ver los resultados antes de guardarlos. El EGS prácticamente le garantizará que sus clientes van a obtener los resultados que necesitan del conjunto de datos.

Por ejemplo, para extraer el volumen de una nube de puntos:

1. Defina la referencia para el volumen.
2. Configure la resolución necesaria.
3. Seleccione la parte de desmonte y terraplén requerida y vea previamente el volumen.
4. Edite el volumen si hace falta. (Paso opcional para optimizar los resultados.)

Luego sencillamente cree. Podrá extraer los resultados de varios modos, incluyendo informes personalizables, o exportarlos en los paquetes CAD preferidos de su cliente.

El sistema EGS es exclusivo de RealWorks Survey. No sólo ofrece un flujo de trabajo conveniente, sino que también incrementa la productividad en la administración de datos a un nivel inigualable.

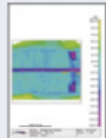
## COMPROBACIONES EN EL CAMPO Y GARANTÍA DE CALIDAD

Resultados gráficos muy atractivos disponibles en papel en tan solo minutos ... o para exportar a un paquete CAD

Impresiones directas, exportación a CAD, informes de texto y en hojas de cálculo



Impresión de una sección transversal



Impresión de un mapa de inspección

Todos los resultados gráficos se pueden imprimir y exportar directamente de RealWorks Survey utilizando la interfaz de impresión, incluyendo la leyenda, el título, la escala del mapa y las inserciones. Los resultados también se pueden exportar a los paquetes CAD más importantes, tales como AutoCAD y MicroStation. También se pueden generar informes escritos con formato de texto, Word y Excel. Trimble RealWorks Survey ofrece una flexibilidad máxima en los requerimientos de informes.

RealWorks Survey también incluye potentes herramientas de comunicación, tales como la generación de vídeo y la exportación a Google Earth, que le permite ser más productivo cuando comparte información. También podrá proporcionar servicios de valor adicional a quienes están a cargo de la toma de decisiones o a las partes interesadas en un proyecto.

## CONFIGURACIONES DE REALWORKS SURVEY

El software RealWorks Survey está disponible en diferentes versiones y con componentes con licencia que pueden variar con el tiempo. Para proporcionar a los clientes materiales avanzados, para familiarizar a los usuarios nuevos con el conjunto de productos RealWorks Survey y/o para compartir datos de un escáner 3D o estación espacial, hay una versión de Visor de RealWorks Survey disponible que puede descargar del sitio [www.trimble.com/spatialimaging.shtml](http://www.trimble.com/spatialimaging.shtml).

### REQUERIMIENTOS DE SISTEMA

- Procesador Intel® Pentium® 4 o posterior compatible, de 2 GHz (se recomienda 3 GHz o más)
- Microsoft Windows XP (Professional o Home Edition con SP1 o SP2) o Microsoft Vista.
- 2 GB de RAM (se recomienda 4 GB)
- Tarjeta gráfica 3D Open GL de 256 MB
- Unidad de CD-ROM
- Ratón con 3 botones

© 2005-2009, Trimble Navigation Limited. Reservados todos los derechos. Trimble y el logo del Triángulo son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited, registradas en los Estados Unidos y en otros países. A.R.S., Easy Guided Step, EasySite, EasyProfile y OfficeSurvey son marcas comerciales de Trimble Navigation Limited. RealWorks es una marca registrada de Bentley SA. Microsoft y Windows son marcas registradas o marcas comerciales de Microsoft Corporation en los Estados Unidos y/o en otros países. Todas las otras marcas son propiedad de sus respectivos titulares. NP 022543-1234-4 (09/09)



# Geotronics®

Geotronics, S.L. Calle Dublin, 1, planta 1ª,  
Polígono Európolis, 28230 Las Rozas (Madrid)  
Tel. + 34 902 30 40 75 - Fax. + 34 916 370 074  
[www.geotronics.es](http://www.geotronics.es) - [geotronics@geotronics.es](mailto:geotronics@geotronics.es)



Distribuidor Autorizado

**AMÉRICA DEL NORTE**  
Trimble Engineering  
& Construction Group  
5475 Kellenburger Road  
Dayton, Ohio 45424-1099  
EE.UU.  
800-538-7800  
(Teléfono sin cargo)  
Teléfono +1-937-245-5154  
Fax +1-937-233-9441

**EUROPA**  
Trimble GmbH  
Am Prime Parc 11  
65479 Raunheim • ALEMANIA  
Teléfono +49-6142-2100-0  
Fax +49-6142-2100-550

**ASIA-PACÍFICO**  
Trimble Navigation  
Singapore Pty Limited  
80 Marine Parade Road  
#22-06, Parkway Parade  
Singapore 49269 • SINGAPUR  
Teléfono +65-6348-2212  
Fax +65-6348-2232

  
[www.trimble.com](http://www.trimble.com)



---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

---

A continuación se enumeran los documentos, libros y páginas web que se han consultado a lo largo de la realización de este proyecto fin de carrera:

- David Cruz Josa (Marzo 2013): “Obtención del modelo tridimensional de la fachada del real observatorio astronómico de Madrid mediante tecnología láser escáner”. PFC. ETSI en Topografía, Geodesía y Cartografía. UPM. Madrid
- Zazo Ferreras, A; Jimenez, D.; Farjas Abadía, M. (Junio 2011): “Guía visual de Trimble RealWorks. Software laser 3D”. Trimble. España.
- Portal de la Dirección General del Catastro.

<http://www.catastro.meh.es/>

- Lerma García, J.L.; Biosca Tarongers, J.M. (Septiembre 2008): “3D RiskMapping, Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre.

[http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo Tutorial Final vers5 SPANISH.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf)

- Ficha Técnica del Equipo Láser Escáner FARO Photon 80.

<http://www.ilusionideasweb.com.ar/vaccaro/pdfs/Faro-Photon.pdf>

- Características del programa Trimble RealWorks 8.0

<http://geotronics.es/productos/soluciones-escaneres-3d/realworks>